

N° Enregistrement
C.N.R.S.
A0 6082

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES
NATURELLES

par

Claude BOBIER

CONTRIBUTION DU PALÉOMAGNÉTISME A L'ÉTUDE GÉODYNAMIQUE DES VOLCANS DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS, D'ALGÉRIE NORD ORIENTALE ET DU MEXIQUE

Soutenue le 2 Octobre 1971 devant la Commission d'examen

MM. L. GLANGEAUD

Président

E. THELLIER

J. HILLY

A. ROCHE

}

Examineurs

T O M E I

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES
NATURELLES

par

Claude BOBIER

CONTRIBUTION DU PALÉOMAGNÉTISME A L'ÉTUDE GÉODYNAMIQUE DES VOLCANS DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS, D'ALGÉRIE NORD ORIENTALE ET DU MEXIQUE

Soutenue le 2 Octobre 1971 devant la Commission d'examen

MM. L. GLANGEAUD

Président

E. THELLIER

J. HILLY

A. ROCHE

} Examinateurs



A ma Mère

A ma Femme

A mon Père

Sans eux ce travail n'existerait pas

A mes Enfants :

Sylvie, Christine et Valérie.

Je leur dédie ce travail.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553006_0028

REMERCIEMENTS

En le remerciant d'avoir bien voulu assumer la présidence de mon jury je voudrais aussi assurer Monsieur le Professeur GLANGEAUD, Membre de l'Institut, de ma profonde reconnaissance pour la sollicitude qu'il a toujours manifestée à mon égard et pour l'aide qu'il m'a apportée dans la réalisation de ma thèse.

La foi qu'il manifestait pour la Géodynamique dans les cours qu'il professait tant à la Faculté des Sciences de Paris qu'à l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud m'a attiré vers cette science. Les recherches qu'il a bien voulu me confier sur le volcanisme du Forez dans le cadre d'un diplôme d'Etudes Supérieures, m'ont permis de m'associer aux équipes des Centres de Recherches Géodynamiques et ont déterminé mon avenir. En effet, sitôt connue ma réussite à l'Agrégation, le Professeur GLANGEAUD m'intégra aux chercheurs qu'il dirigeait en me faisant nommer Assistant et en me confiant le sujet de la présente thèse.

En me faisant nommer Maître-Assistant et en me confiant la responsabilité de la station de Géodynamique sous marine de Villefranche, m'associant ainsi aux recherches sous-marines que j'évoquerai trop brièvement dans ce travail, il m'a permis de mieux comprendre ce que doit être la Géodynamique.

Toutes ces marques de confiance furent pour moi le stimulant qui m'a permis de surmonter les multiples difficultés qui n'ont pas manqué de retarder l'achèvement de ce travail.

Monsieur le Professeur THELLIER,
Membre de l'Institut, a bien voulu m'ouvrir les portes
de son laboratoire et guider mes premiers pas dans le
domaine du paléomagnétisme. Les conseils et les mises
en garde qu'il m'a prodigués lors de chacune des dis-
cussions que nous avons eu ensemble m'ont permis d'éviter
bon nombre d'écueils. Le soin qu'il a, par deux fois
apporté à corriger mon manuscrit m'a permis de l'a-
méliorer. Aussi, en le remerciant d'avoir bien voulu
accepter de faire partie de mon jury de thèse, je tiens
à lui exprimer ma gratitude pour toute l'aide qu'il
m'a ainsi apportée.

Monsieur le Professeur J. HILLY,
en m'associant aux travaux de la RCP Nord-Constantinois
m'a permis d'étendre le champs de mes recherches.
Avant d'accepter de faire partie de mon jury de thèse
il a bien voulu me consacrer plusieurs jours tant pour
me guider en Algérie que pour m'accompagner dans le
Massif Central. Qu'il trouve ici l'expression de mes
sincères remerciements.

Monsieur le Professeur A. ROCHE,
dès le début de mon travail m'a fait part de ses
observations et de son expérience personnelle. A
diverses reprises il a bien voulu me recevoir à
Strasbourg me permettant ainsi de prendre contact
avec ses collaborateurs. Enfin, il a bien accepté,
non seulement de faire partie de mon jury, mais
aussi de se charger d'être le rapporteur de mon
travail. Il m'est agréable de l'assurer de ma pro-
fonde reconnaissance.

Je dois d'avoir pu travailler au Mexique à Monsieur le Professeur G. STRESSER-PEAN, Directeur de la mission scientifique française au Mexique. Dès mon arrivée à Mexico en 1966, j'ai pu utiliser en toute liberté, les moyens dont il dispose. Je tiens à l'assurer de ma reconnaissance et à le remercier pour son aide et son hospitalité.

En acceptant pendant plusieurs années de sacrifier nos vacances, ma femme m'a permis de trouver le temps nécessaire à l'exécution de mes campagnes de terrain. Son assistance et ses encouragements constants m'ont aidé à surmonter les épreuves qu'il nous a été donné de rencontrer. Je la remercie ici très vivement.

Je tiens aussi à remercier Monsieur A. CARLES. La conscience et le soin qu'il a apportés à me seconder m'ont permis d'achever les mesures sur lesquelles repose ce travail. Ma reconnaissance va aussi à Monsieur J.D. SYLVAIN pour l'aide efficace qu'il m'a apportée dans la réalisation des programmes de traitement.

Cette thèse étant terminée, je pense maintenant à tous ceux qui, à des titres divers, m'ont permis de mener à bien ce long travail. Je tiens à manifester ma profonde gratitude à :

Monsieur le Professeur J. MERCIER qui a rapporté le matériel de Grèce que j'ai pu étudié.

Monsieur C. COULON avec qui je travaille en Sardaigne.

Madame L. LAUNAY et Monsieur J. POUTIERS, pour les nombreuses discussions que nous avons eu à propos du magnétisme et du paléomagnétisme et l'aide qu'ils m'ont apportée.

Mademoiselle A. BRUN et Messieurs C. ROBIN et A. THOMAS qui m'ont aidé dans les campagnes de terrain.

Messieurs M. PREVOT et M. MACLE pour leur contribution dans l'exécution du programme de recherche que nous avons conduit dans le Velay.

Messieurs R. LETOLLE et J.L. CHEMINEE pour les fructueux échanges de vue que nous avons eu à propos des régions étudiées et du volcanisme en général.

Madame le Professeur S. GUILLAUME et Monsieur A. GUILLAUME pour les encouragements et l'aide qu'ils m'ont apportée au début de ce travail.

Je voudrais aussi remercier mes autres camarades de Villefranche, Messieurs G. BELLAICHE, F. FERNEX et J.P. REHAULT et Mademoiselle I. GAUDRY avec qui j'ai pu discuter des problèmes de géologie marine et dont l'appui moral m'a beaucoup aidé depuis mon arrivée à Villefranche.

Ma reconnaissance va aussi à tous ceux qui ont permis la mise au point du matériel utilisé et la réalisation pratique de ce mémoire : Mademoiselle C. CAPE, Madame E. FLUCHA, Messieurs M. FLUCHA et S. PIERROT, Madame D. PETRUCELLI, Messieurs G. TOURON et B. SZEP. Je remercie aussi les Sociétés "Secrétariat pour tous" (Madame ROSSI) et "Olliviers" (Monsieur De SANTI) qui ont assuré la majeure partie des travaux de frappe et de tirage Offset.

- AVANT PROPOS -

BUT DU TRAVAIL ENTREPRIS :

La Géodynamique a pour ambition d'étudier l'évolution de notre planète en intégrant dans un système cohérent les données de la Géophysique, de la Géologie, de la Paléoclimatologie etc...

En particulier, le géodynamicien doit tenir compte des interactions qui peuvent exister entre les différents sous-ensembles qui caractérisent l'ensemble Terre : Noyau, Manteau, Ecorce, Hydrosphère, Atmosphère. Or, ces interactions sont difficiles à analyser et l'une des rares voies d'accès consiste à étudier l'évolution simultanée de ces sous-ensembles et à rechercher si certaines corrélations n'apparaissent pas entre eux. Ce travail ne peut être, bien évidemment qu'un travail d'"Equipes" car il embrasse un domaine très vaste de techniques.

Dès 1947, L. GLANGEAUD insistait sur la nécessité de tenir compte de l'évolution du manteau si l'on veut comprendre et expliquer l'évolution de l'écorce. L'un des aspects des interactions manteau-écorce est directement accessible au géologue par l'analyse du phénomène volcanique. Né dans le Massif Central nous avons tout naturellement été intéressé par cette direction de recherche et, dès 1959, nous avons commencé l'étude du volcanisme du Forez (C. BOBIER et L. GLANGEAUD, 1959 - L. GLANGEAUD, C. BOBIER, 1960 - C. BOBIER, 1960).

La première opération à réaliser pour une étude d'ensemble est l'établissement d'une chronologie relative aussi précise que possible, voire d'une chronologie absolue.

Malheureusement, dans beaucoup de systèmes volcaniques, les données paléontologiques manquent ce qui rend diffi-

cile l'établissement de corrélations à distance. Mais à la suite des travaux de l'Ecole française et en particulier de E. THELLIER (1938) et de son équipe et de l'Ecole japonaise conduite par NAGATA (1943) un "fossile" est venu au secours du géologue. Grâce à la possibilité d'acquérir, dans certaines conditions, des aimantations thermorémanentes qui caractérise les roches volcaniques, les laves fossilisent la direction du champ terrestre. La roche porte ainsi en elle-même un trait caractéristique de son époque et cette marque a le grand mérite d'être, dans le temps, valable pour l'ensemble du globe puisque le champ terrestre est une propriété qui caractérise l'ensemble "Terre".

Nous avons donc abordé notre travail avec l'idée de définir des corrélations stratigraphiques entre les phénomènes volcaniques des régions du Massif Central voisines du Forez, (à savoir le Velay et le Massif du Sancy) en utilisant cette propriété des roches effusives. Mais au cours de notre progression, les recherches paléomagnétiques évoluèrent très vite. Les conceptions qui guidèrent nos recherches au départ se trouvèrent modifiées à la suite des progrès ainsi réalisés. Nous avons été amenés à modifier l'esprit de notre travail et à étendre notre aire de recherche pour essayer, à la suite des travaux de L. GLANGEAUD (1968) de replacer nos recherches dans le cadre de l'analyse de l'évolution géodynamique du domaine méditerranéen et de ses bordures. La méthode paléomagnétique peut servir le géologue de diverses façons. Nous ne les évoquerons pas toutes.

Notre mémoire comporte deux illustrations des possibilités ainsi offertes :

a) Dans le Chapitre II, après avoir recherché si l'analyse de la direction d'aimantation thermorémante des laves permet d'établir une stratigraphie relative dans l'ensemble d'un massif (Velay) nous examinerons à propos du Devès et surtout du Massif du Sancy si les recherches paléomagnétiques peuvent

contribuer à la mise au point d'une chronologie absolue fine. C'est donc la contribution du paléomagnétisme à la chronologie relative et absolue d'une partie du volcanisme du Massif Central que nous essaierons de préciser.

b) Dans le Chapitre III évoquant les phénomènes géotectoniques, nous évoquerons à propos d'un exemple précis, certaines limites de la méthode paléomagnétique pour définir les rapports de blocs continentaux entre eux.

Auparavant (Chapitre I) il nous paraît indispensable de rappeler les techniques que nous avons utilisées.

Mais nous tenons à préciser que ce travail n'est pas un travail de Géophysique pure. Nous utilisons une technique géophysique pour traiter des problèmes de Géologie. Nous verrons que, pour cette raison, nous nous sommes dans certains cas contentés d'indications approchées. Une étude plus poussée aurait sans doute permis de préciser la direction d'aimantation mais n'aurait pas donné plus de renseignements au géologue. La précision de la mesure est essentiellement fonction de la nature de l'information recherchée.

Nous devons cependant dire que nos résultats auraient parfois mérité une précision plus grande mais, notre but étant essentiellement de montrer comment un géologue peut utiliser les données paléomagnétiques, nous n'avons pas cru devoir reprendre certaines études de détails, nous bornant à préciser le cadre du travail restant à faire. Il ne s'agit donc pas d'un travail exhaustif mais d'une recherche débouchant sur les possibilités offertes par une méthode et définissant avec précision les points qui mériteront, dans l'avenir, des études de détails et comment aborder ces études.

C H A P I T R E I.

ORIGINE ET SIGNIFICATION DE LA PROPRIETE ETUDIEE

TECHNIQUES UTILISEES .

INTRODUCTION : La position du géologue vis-à-vis des phénomènes magnétiques.

L'étude des phénomènes magnétiques relève du domaine de la physique et depuis les premiers travaux de Pierre CURIE, au début du siècle dernier, nombreux sont les physiciens éminents tels WEISS, NEEL et HERPIN qui se sont penchés sur ces études ardues. Leurs travaux ont conduit à des réalisations techniques remarquables.

Il ne saurait être question pour un géologue de faire un exposé complet sur un aussi vaste domaine que, ni sa formation ni sa forme d'esprit ne lui permettent de dominer.

Cependant toutes les roches présentent des phénomènes magnétiques qui, comme toutes les autres propriétés de la matière méritent son attention.

Si, comme l'écrivait A. WEGENER en 1928 "ce n'est qu'en réunissant les données de toutes les Sciences qui se rapportent à l'étude du Globe que nous pourrons espérer obtenir la "vérité", le géodynamicien se doit de ne pas négliger cet aspect des choses et de tenter d'en intégrer la signification dans la théorie explicative de l'évolution du monde qu'il essaie de construire. Cela est d'autant plus vrai que, comme le rappelle A. MICHEL (1966) "le magnétisme" est un réactif très sensible de la matière.

Mais une telle étude n'a de sens que si le géologue, comprenant la signification physique du phénomène qu'il utilise, saisit parfaitement à quel niveau de sa construction les données acquises sont significatives.

C'est pourquoi, en évoquant brièvement l'origine du magnétisme, nous tenterons de le situer par rapport aux autres propriétés physiques et chimiques qui caractérisent les roches.

I) L'ORIGINE DES PROPRIETES MAGNETIQUES DE LA MATIERE :

Tout courant engendre un champ magnétique. Or les atomes possèdent un certain nombre d'électrons qui gravitent autour du noyau. Intuitivement, on conçoit ainsi que le voisinage de l'atome sera caractérisé par un champ magnétique fonction de sa structure électronique.

Les travaux récents montrent qu'effectivement l'essentiel des propriétés magnétiques de la matière est dû aux mouvements des électrons. Certains noyaux atomiques possèdent bien un moment magnétique dipolaire mais ces moments sont trop petits pour créer des effets significatifs si ce n'est dans des conditions particulières de température (en dessous de 1 K) ou si la résonance magnétique nucléaire est excitée par un champ électromagnétique convenable. Ces conditions ne se rencontrent pas naturellement dans les roches.

Pour comprendre les propriétés magnétiques des roches il nous suffit donc de tenir compte du comportement des électrons dans la matière.

1) Les propriétés magnétiques de l'atome :

Pour expliquer les propriétés magnétiques que nous utiliserons dans ce travail, le modèle de structure de l'atome de BOHR-SOMMERFELD, bien qu'incomplet, est suffisant. On sait que dans ce modèle les propriétés essentielles de l'atome, sont les suivantes :

- Les électrons qui circulent autour du noyau échappent aux lois de la mécanique classique et peuvent graviter sur certaines orbites privilégiées, dites stationnaires, sans rayonner.
- L'atome ne peut exister que dans une suite discontinue d'états stationnaires dans lesquels les électrons circulent sur des orbites stationnaires.
- L'atome possède une ou plusieurs couches électroniques. Dans chaque couche les électrons décrivent des orbites circulaires ou elliptiques.
- A côté du mouvement orbital, l'électron est soumis à un mouvement de rotation autour de lui-même, appelé mouvement de spin.

Au point de vue magnétique les conséquences de cette structure sont les suivantes :

- Au courant électrique dû au mouvement orbital de l'électron est associé un moment magnétique orbital, perpendiculaire, en son centre, à la trajectoire : ce moment magnétique orbital est quantifié.
- Au courant électrique dû au mouvement de spin est associé un moment magnétique de spin.

L'atome dans son ensemble est donc caractérisé par un moment magnétique M qui est la somme des moments magnétiques orbitaux et de spin de chacun des électrons constitutifs.

Nous ne rentrerons pas dans le détail des équations qui définissent ces couplages, et nous dirons simplement que pour un atome, pour un ion simple, et plus généralement pour une particule isolée le moment résultant dit "moment atomique" peut être :

- Nul s'il y a compensation exacte des moments orbitaux et de spin.
- Différent de 0.

N.B. : Nous ferons avec HERPIN (1968) trois remarques importantes :

- . " Les moments magnétiques atomiques sont les pierres au moyen desquelles on peut construire le monument qu'est le magnétisme".
- . L'existence d'un moment magnétique atomique est essentiellement le fait de la quantification de la matière.
- . "L'existence d'un moment magnétique traduit le défaut de sphéricité de l'atome, ce qui ne peut arriver que si certaines couches électroniques sont incomplètement remplies."

2) Action d'un champ magnétique sur un électron, une particule élémentaire.

Comme tout circuit électrique soumis à l'action d'un champ magnétique, l'électron placé dans un champ subit l'action d'une force qui tendra à déplacer son orbite. Du fait de

quantification de la matière ce déplacement sera discontinu puisque dans une couche électronique chaque électron ne pourra décrire qu'un nombre fini d'orbites. Le moment magnétique de l'Atome est donc modifié quand celui-ci est soumis à l'action d'un champ magnétique extérieur.

a) Le diamagnétisme de l'atome isolé :

Sous l'action d'un champ magnétique H les électrons sont non seulement soumis à une force qui tend à déplacer l'orbite, mais la circulation de l'électron sur cette orbite est perturbée.

Cette variation entraîne une variation du moment magnétique orbital μ . et l'on montre que μ est toujours opposé à H .

D'une façon générale on démontre que statistiquement tout champ agissant sur une particule matérielle atome ou ion provoque l'apparition d'un moment induit $\vec{\Delta M}$ dont le sens est opposé à celui du champ H .

Ce moment induit est proportionnel au champ.

On a $\vec{\Delta M} = \chi H$

La susceptibilité χ est négative, indépendante du champ. De plus elle est pratiquement indépendante de la température sauf quelques cas particuliers. Ce phénomène apparaît nettement lorsque la particule matérielle a un moment nul, moments orbitaux et de spin se compensant. C'est le cas des particules ne présentant pas d'électrons célibataires. Ces substances seront dites diamagnétiques.

b) Le paramagnétisme des atomes libres.

Nous avons vu que sous l'action d'un champ magnétique extérieur les orbites des électrons peuvent être déplacées. Les moments magnétiques qui les accompagnent seront donc déplacés. On trouvera dans MICHEL (1966) et surtout HERPIN (1968) une étude complète de ces phénomènes. Nous retiendrons que d'une façon générale :

- Dans un ensemble d'atomes libres porteurs d'un moment magnétique atomique qui est soumis à l'action d'un champ magnétique apparaît un moment magnétique induit dont le sens est le même que celui du champ.
- Ce moment induit est proportionnel au champ.
- La susceptibilité χ est positive, inversement proportionnelle à la température, mais indépendante du champ H.
- Le moment induit réel est la différence du moment paramagnétique et du moment diamagnétique.

3) De l'atome au cristal :

a) Action d'un champ sur une substance quelconque.

Nous avons vu que les atomes suivant leur structure électronique, sont porteurs de moment atomiques qui peuvent être nuls ou différents de zéro. Lorsque l'on passe à un niveau supérieur d'organisation les phénomènes se compliquent.

En effet la structure d'un atome qui intervient dans une combinaison quelle qu'elle soit comporte :

- En dehors des couches ou sous-couches électroniques complètes qui correspondent à sa structure propre, des électrons qui s'engagent dans les liaisons chimiques; ainsi le moment atomique primitif risque de se trouver modifié.

- Lorsque le moment atomique n'est pas nul, chaque atome de la combinaison est soumis à l'action des moments atomiques des atomes voisins. Suivant l'intensité de ces interactions d'autres phénomènes vont intervenir.

D'une façon générale, un corps quelconque placé dans un champ magnétique H acquiert une certaine aimantation dont l'intensité est $\vec{M} = K \vec{H}$

K = susceptibilité magnétique.

Si on considère un gramme de substance on a :

$$\vec{C} = \chi \vec{H}$$

χ = susceptibilité massique.

Si on considère 1cm³ de substance

$$\vec{I} = k \vec{H}$$

k = susceptibilité magnétique.

L'expérience montre que d'après leur comportement sous l'action d'un champ magnétique extérieur les substances se répartissent en première approximation en trois groupes (A. MICHEL 1966) :

A - Les substances diamagnétiques : pour lesquelles la susceptibilité χ est négative de l'ordre de $(-10^{-6}/g)$ dans le système E.M.C.G.S.), indépendante de la température et indépendante du champ.

B - Les substances dites paramagnétiques caractérisées par une susceptibilité positive de l'ordre de $(10^{-6} \text{ à } 10^{-4}/g)$ dans le système E.M.C.G.S.), indépendante du champ H mais qui varie avec la température.

C - Les substances dites ferromagnétiques. (Au sens large)

Ce sont des corps solides pour lesquels la susceptibilité positive très grande est fonction de la température, du champ H et de l'histoire magnétique, thermique et mécanique de l'échantillon.

Cette classification trop sommaire a été considérablement modifiée par les études récentes comme nous le verrons. Néanmoins elle fait apparaître que la combinaison des atomes peut modifier les caractères magnétiques de la matière lorsque l'on passe à un niveau d'organisation supérieur à celui de l'atome.

b) La signification des composés diamagnétiques :

L'existence de substances diamagnétiques montre que le passage de l'état atomique à un niveau d'organisation supérieur (Molécule, cristal) peut ne pas transformer radicalement le compor-

tement magnétique d'une substance. Les propriétés diamagnétiques des atomes peuvent ne pas être transformées par le passage d'un niveau d'organisation à un autre niveau d'organisation. En particulier les nombreux travaux qui ont été réalisés sur les molécules organiques ont permis de montrer que leur susceptibilité diamagnétique était une grandeur additive sous réserve que l'on tienne compte des liaisons de covalence et des caractéristiques de ces liaisons.

D'une façon plus générale si un corps est diamagnétique, c'est qu'il ne possède pas d'électrons célibataires.

c) Signification des composés paramagnétiques : Du paramagnétisme au ferromagnétisme.

L'existence de substances paramagnétiques semblerait montrer que dans ce domaine aussi le transfert d'échelle se fait par addition des propriétés des particules constitutives. Il ne s'agit que d'une apparence car la réalité n'est pas aussi simple. En effet, pour interpréter certaines lois mises en évidence sur des corps paramagnétiques WEISS a dû admettre qu'il y avait interaction des porteurs de moment entre eux. Dans ces conditions un atome i est soumis à l'action du champ extérieur et à l'action des champs créés par les autres atomes porteurs de moment. WEISS a émis l'hypothèse que le champ résultant des champs d'origine interne, appelé champ moléculaire H_m , est proportionnel à l'aimantation M .

$$\text{Soit } H_m = n M.$$

n étant la constante du champ.

Moyennant cette hypothèse on montre que l'on peut écrire :

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

$$\text{avec } \chi = \frac{C}{T - T_c} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\chi} = \frac{T - T_c}{C}$$

T_c = Température de CURIE

T = température du corps.

C = Constante de CURIE

Tant que $T > T_c$ le corps est paramagnétique (au sens large)
 Si $T_c < 0 \text{ K}$ le corps reste donc paramagnétique quelle que soit la température.

Si $T_c > 0 \text{ K}$ la susceptibilité devient infinie pour $T = T_c$.

A ce moment l'aimantation prend une valeur finie dans un champ infiniment petit, par exemple celui créé par les atomes eux-mêmes.

Il existe donc une aimantation en l'absence de champ extérieur.

Cette aimantation est dite spontanée. Celle-ci nulle pour $T = T_c$ croît quand T décroît pour atteindre la saturation pour

$T = 0 \text{ K}$. Le corps est alors ferro ou ferrimagnétique*. L'existence de ces corps montre que les propriétés magnétiques de certaines substances sont modifiées lorsqu'elles rentrent dans la composition de certains cristaux.

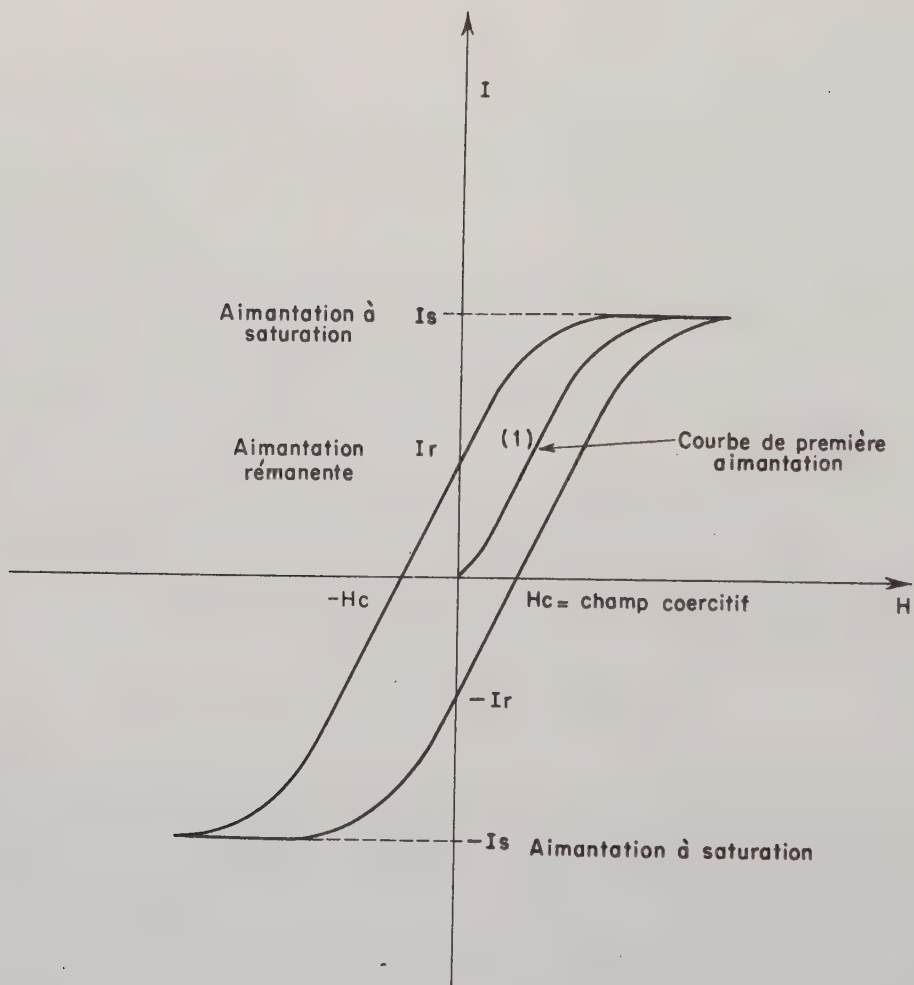
Si les propriétés magnétiques d'une substance sont bien liées à la structure de l'atome ces propriétés dépendent aussi du niveau d'organisation de la substance considérée.

II) LES PHENOMENES MAGNETIQUES DANS L'ETAT SOLIDE :

Le milieu solide, mis à part les verres, est en première approximation triplement périodique. Cette structure fait que les atomes magnétogènes ont une influence les uns sur les autres. Les interactions dont WEISS avait admis l'influence vont pouvoir atteindre dans les solides de fortes intensités. Si ces interactions sont faibles les corps demeurent paramagnétiques. Si les interactions sont fortes, nous avons les ferromagnétiques au sens large.

Il n'est pas question pour nous d'aborder l'étude physique de ces phénomènes et nous renvoyons le lecteur à des ouvrages spécialisés comme celui de Michel (1966) pour le lecteur prenant contact avec les phénomènes magnétiques ou comme celui de HERPIN (1968), qui constitue une remarquable synthèse des théories du magnétisme, destiné à des lecteurs beaucoup plus avertis. Nous rappellerons simplement certaines définitions et propriétés liées aux corps ferro et ferrimagnétiques.

* En fait, dans les ferromagnétiques, la température de Curie ferromagnétique ne coïncide pas avec la température de Curie paramagnétique par suite de l'apparition de phénomènes particuliers au voisinage du point de Curie.



Cycle d'hystérésis

Fig. 1

a) Aimantation induite et aimantation rémanente.

Dans les corps ferro et ferrimagnétiques la relation qui lie l'aimantation $\vec{I}$ et le champ extérieur $\vec{H}$ n'est pas simple. On a :

$$\vec{I} = k \vec{H} + \vec{I}_r$$

Le vecteur $k \vec{H}$ est l'aimantation induite. Elle s'annule si H disparaît (pour H faible). Le coefficient k est la susceptibilité magnétique. Il est positif. Le vecteur $\vec{I}_r$ est l'aimantation rémanente. Celle-ci est fonction de l'histoire antérieure du cristal.

b) Cycle d'hystérésis et aimantation rémanente isotherme

- A température constante l'aimantation M d'un corps ferromagnétique ou ferrimagnétique préalablement désaimanté puis soumis à l'action d'un champ extérieur $\vec{H}$ variable varie avec ce champ. La courbe représentative de la fonction $I = f(H)$ constitue le cycle d'hystérésis (fig. 1). Ce cycle est caractérisé par les paramètres suivants :

$\vec{I}_s$ = Moment à saturation. Maximum de l'aimantation à la température considérée.

$\vec{I}_r$ = Moment rémanent. C'est le moment qui demeure si $H = 0$

H_c = Champ coercitif = champ nécessaire pour annuler l'aimantation.

H_c et I_s sont des paramètres caractéristiques du cristal.

- L'aimantation à saturation est fonction de la température où est réalisé le cycle d'hystérésis. Cette aimantation croît lorsque la température décroît. Nulle à la température de CURIE elle est maximale à 0° K

- L'origine des aimantations rémanentes ferromagnétiques : les domaines de WEISS.

- Ces propriétés particulières ont été interprétées par WEISS en admettant que ces cristaux sont divisés en petites régions, les domaines élémentaires, dans lesquelles le champ ^{d'origine} interne tend à orienter les moments élémentaires des différents porteurs ce qui

créé l'aimantation spontanée.

Le champ interne est dû aux forces magnéto-cristallines résultant du couplage de certains électrons autres que les électrons célibataires. Comme les forces qui le créent le champ interne est sous la dépendance du réseau cristallin. En particulier selon la symétrie cristalline il y a une ou plusieurs directions privilégiées pour l'aimantation spontanée. Cette propriété est responsable des phénomènes d'anisotropie magnétique.

En l'absence de champ extérieur, chaque domaine est aimanté spontanément à saturation mais l'aimantation d'un ensemble de domaine est nulle car il y a compensation mutuelle de l'aimantation spontanée des différents domaines.

Dans un cristal pluridomaines les moments magnétiques spontanés des domaines élémentaires ne sont donc pas parallèles. De ce fait les domaines élémentaires sont séparés par des zones de transition ayant une certaine épaisseur où les moments élémentaires occupent des positions intermédiaires. Ces zones de transition sont appelées parois de BLOCH. L'action d'un champ extérieur entraîne un déplacement des parois. Ces déplacements sont faibles et réversibles dans les champs faibles mais sont irréversibles pour les champs moyens et forts. Cette irréversibilité est responsable de l'apparition de l'aimantation rémanente.

L'aimantation rémanente des ferromagnétiques est donc un phénomène lié à la structure cristalline (à l'échelle du cristal) mais régie par l'interaction de forces intracristallines et de forces extérieures. C'est un exemple des influences réciproques de phénomènes situés à des échelles différentes.

Tous les facteurs chimiques (impuretés, inclusions, solutions solides), physiques (dislocations, lacunes), structuraux (structure cristalline, orientation, texture) et tous les traitements mécaniques et thermiques influent sur les caractères

magnétiques.

- Ferrimagnétisme et antiferromagnétisme

Dans les ferromagnétiques, à l'intérieur de chaque domaine, les moments atomiques sont tous parallèles. Il existe des substances dans lesquelles les domaines sont divisés en deux ou plusieurs sous-réseaux A, B; C, ..., dans lesquels les moments élémentaires se disposent parallèlement mais les moments résultants des sous-réseaux sont parallèles ou antiparallèles entre eux.

Si les moments parallèles et antiparallèles se compensent la substance est antiferromagnétique, si cette compensation est incomplète on a des corps ferrimagnétiques.

Certains corps comme le sesquioxyde de fer α Fe_2O_3 sont tels que, dans certaines gammes de température, les moments des sous-réseaux A et B ne sont pas rigoureusement antiparallèles. Ces corps sont alors appelés antiferromagnétiques imparfaits.

- Du fait de la compensation des moments des sous-réseaux dans les antiferromagnétiques, le moment de chaque domaine est nul en l'absence de champ extérieur, mais ces substances présentent le phénomène d'hystérésis. Toutefois les aimantations à saturation demeurent faibles.

- Dans les ferrimagnétiques comme il n'y a pas compensation complète entre les moments des sous-réseaux l'aimantation spontanée des domaines se manifeste.

Ces substances présentent aussi :

- un cycle d'hystérésis et une aimantation à saturation.
- des phénomènes d'anisotropie magnétique.
- une température de CURIE.

Elles sont donc proches des ferromagnétiques.

A cette catégorie appartiennent les oxydes mixtes de formule gé-

générale :

$x \text{Fe}_2 \text{O}_3$, $y \text{MO}_n$ en particulier, la magnétite.

Dans cette formule M est un métal et n un nombre entier ou fractionnaire. Les corps qui correspondent à cette formule s'appellent des ferrites et se répartissent en trois groupes dont l'un jouera un rôle important dans les roches : le groupe des ferrites de type spinelle dans lequel M est un métal bivalent (Ni, Co, Mn, Fe, Zn, Mg, Cd). "Les phénomènes de solutions solides sont nombreux et donnent naissance à des séries continues de composés aux propriétés continûment variables. De sorte que les paramètres H_c , M_r , M_s varient en fonction de la composition chimique."

(A. MICHEL 1966)

c) Le trainage magnétique.

Si on soumet un ferromagnétique, préalablement désaimanté, à l'action d'un champ magnétique l'aimantation varie tout d'abord très rapidement pour atteindre une certaine valeur puis elle augmente ensuite, lentement, pour tendre asymptotiquement vers une valeur supérieure. Ce phénomène de retard est appelé le trainage magnétique. Son interprétation fait intervenir la notion de temps de relaxation que nous définirons plus loin. Là encore nous ne rentrerons pas dans le détail des choses. Nous retiendrons cependant qu'il s'agit d'un phénomène très différent de celui d'hystérésis qui ne tient compte que du comportement instantané d'une substance.

L'origine du trainage est variée. Deux types de trainage sont cependant à retenir.

1) Le trainage de diffusion lié au fait que l'énergie nécessaire au déplacement d'une paroi est plus forte si cette paroi occupait sa position primitive depuis longtemps que si elle vient de se mettre en place. Il y a donc stabilisation des parois. Cette forme de trainage n'est pas générale car elle est liée à la

présence d'impuretés.

β) Le trainage de fluctuation . C'est un phénomène général. Il est caractérisé par la variation logarithmique de l'aimantation avec le temps. NEEL (1951) a développé un modèle pour interpréter ce trainage qui suppose une fluctuation du champ magnétique local. Cette fluctuation est liée au déplacement de la direction de l'aimantation spontanée du fait de l'agitation thermique.

d) Les propriétés magnétiques des grains fins. Temps de relaxation et aimantation thermorémanente.

Les grains fins jouant un rôle important dans les roches nous rappellerons ici leurs propriétés essentielles renvoyant pour le détail le lecteur au chapitre XXII de l'ouvrage de A. HERPIN (1968) à qui nous emprunterons la plupart des lignes qui suivent.

Dans les cristaux divisés en domaine il existe une taille critique au-dessous de laquelle un monodomaine est plus stable que toute autre répartition de l'aimantation. Les dimensions maximales de ces monodomaines sont d'autant plus grandes que l'anisotropie est elle-même plus grande.

Dans les monodomaines l'aimantation ne peut pas apparaître par déplacement des parois de BLOCK. Elle ne peut résulter que de la rotation des moments magnétiques hors de la direction de facile aimantation. Pour provoquer ces rotations il faut des champs plus intenses que ceux nécessaires au déplacement des parois. Les champs coercitifs sont donc plus forts pour des monodomaines que pour des multidomaines.

- Les moments magnétiques des grains fins sont soumis à des fluctuations thermiques qui tendent à repartir uniformément ces moments entre les diverses directions de facile aimantation.

Le temps nécessaire pour que les moments magnétiques d'un ensemble de grains, initialement tous parallèles, soient répartis d'une façon aléatoire est fonction du temps de relaxation. Ce temps de relaxation varie très vite avec la température.

- Si le temps de relaxation est petit par rapport au temps nécessaire pour effectuer des mesures, tout se passe comme si les moments magnétiques étaient à tout instant redistribués dans toutes les directions. Il n'y a donc pas trace d'hystérésis même pour des températures inférieures à la température de CURIE. Le corps est alors appelé superparamagnétique car il se comporte comme un corps paramagnétique à forte susceptibilité.

- Si un ensemble de grains fins, dont le temps de relaxation n'est pas petit, est soumis à l'action d'un champ continu, à température ordinaire, il conserve une aimantation rémanente isotherme lorsque le champ continu est supprimé. THELLIER (1938) a montré que dans le cas de terres cuites l'ARI est petite et pratiquement nulle tant que le champ magnétique n'atteint pas une valeur suffisante et elle croît ensuite lentement. Par contre, si la substance est portée à haute température le temps de relaxation devient très petit. L'aimantation varie vite même dans les champs faibles, la substance se comportant alors comme un corps superparamagnétique. Pour un grain de volume donné cette aimantation est réversible tant que la température reste supérieure à une certaine température T_b dite tempéra-

ture de blocage proportionnelle au volume et au champ coercitif ($T_b \sim CHcV$). En-dessous de la température T_b l'aimantation devient irréversible et il faut un champ antagoniste égal à H_c pour modifier cette aimantation. Si le grain est refroidi depuis sa température de CURIE jusqu'à la température ordinaire dans un champ relativement faible il va acquérir à partir de sa température T_b une aimantation irréversible qu'il conservera à la température ordinaire.

La théorie de cette aimantation, dite thermorémanente, a été établie par NEEL (1949). Cette aimantation est intéressante en géologie car, dans les roches volcaniques, la température d'émission est supérieure à la température de CURIE des minéraux.

III) LES PRINCIPALES PROPRIETES MAGNETIQUES DES ROCHES ERECTIVES :

Les roches volcaniques sont formées de minéraux et de verre. Elles comportent en particulier des oxydes de Fer pour la plupart ferrimagnétiques. Globalement la roche se comporte donc comme une pâte para ou diamagnétique renfermant des grains ferrimagnétiques. On trouvera dans l'ouvrage "Rock Magnetism" de NAGATA un exposé assez complet sur les propriétés magnétiques des miné-

raux. Nous nous contenterons d'évoquer les propriétés des principales aimantations que nous mesurerons.

1) Aimantation thermorémanente : A.T.R.

Les laves sont émises à une température supérieure à la température de CURIE des ferromagnétiques et ferrimagnétiques. Ces minéraux en se refroidissant vont acquérir une aimantation thermorémanente. L'ensemble de la roche présentera une aimantation thermorémanente qui est la résultante des aimantations thermorémanentes de l'ensemble des grains.

E. THELLIER (1938) a étudié les propriétés des aimantations thermorémanentes des terres cuites, et T. NAGATA (1943) observé celles des laves. Ils ont établi les lois fondamentales suivantes :

a) Les laves et les terres cuites en se refroidissant dans un champ H prennent une aimantation dite thermorémanente (ATR). Cette aimantation supérieure à l'aimantation induite à froid par le champ H est très supérieure à l'aimantation rémanente créée à froid par le même champ. Le moment magnétique est dirigé dans l'objet comme l'était le champ agissant au refroidissement.

b) Cette aimantation est reproductible à volonté intégralement ou partiellement.

Elle disparaît totalement si la température devient supérieure à la température de CURIE la plus élevée parmi celles de ses constituants ferro ou ferrimagnétiques.

Le réchauffement partiel jusqu'à une température T_1 inférieure au point de CURIE le plus élevé, fait disparaître l'aimantation acquise au refroidissement entre T_1 et la température ordinaire.

Le refroidissement entre T_1 et la température ordinaire fait apparaître une nouvelle aimantation identique à la précédente si le champ agissant est le même, différente si le champ est différent.

L'indépendance des aimantations acquises dans des intervalles de température différents est totale. L'aimantation thermorémanente est la somme géométrique des aimantations acquises dans les divers intervalles de température que l'on peut définir entre le point de CURIE le plus élevé et la température ordinaire.

D'une façon plus générale les aimantations thermorémanentes et l'aimantation rémanente isotherme acquises dans un champ faible se superposent dans une roche mais ne s'additionnent pas. Seuls leurs effets s'ajoutent géométriquement.

- c) L'intensité de l'aimantation thermorémanente acquise dans les champs faibles est proportionnelle à l'intensité du champ agissant.
- d) Le moment ne change pas par manipulation dans le champ terrestre. La stabilité de l'ATR dans le temps paraît totale. En particulier, elle est grande vis-à-vis des champs magnétiques agissant à froid.

F. RIMBERT (1958) a montré que les ATR et les aimantations rémanentes isothermes fortes étaient détruites par l'action des champs alternatifs de façon analogue, alors que celles acquises dans des champs faibles disparaissent de façon très différentes. Tandis que les aimantations rémanentes isothermes disparaissent très vite, les ATR résistent au maximum. (Nous reviendrons (fig. 7) sur ce point).

J. ROQUET, (1953) a étendu les lois mises en évidence par E. THELLIER sur les terres cuites à des corps définis. L. NEEL (1955) a fait l'étude théorique de l'aimantation thermorémanente en étendant la théorie qu'il avait mise au point sur les monodomaines, que nous avons évoquée, aux grains pluridomaines et en généralisant la notion de temps de relaxation.

On voit l'intérêt des caractères des aimantations thermorémanentes des roches pour l'étude du champ magnétique terrestre puisque les laves, en se refroidissant, peuvent acquérir une aimantation de même direction que celle du champ terrestre et dont l'intensité est proportionnelle à celle de ce champ, puisqu'il est faible. De plus, un réchauffement partiel ne fera pas disparaître la totalité de l'ATR du fait de l'indépendance des ATR acquises dans des intervalles de température différents. Le refroidissement qui suivra pourra tout au plus introduire des aimantations parasites mais que l'on peut éliminer par réchauffement.

L'indépendance des ATR acquises dans des intervalles de température différents avait permis à NEEL (1951) de prévoir que

dans le cas d'un mélange de grains ferromagnétiques à points de CURIE différents l'aimantation de l'ensemble du mélange pouvait théoriquement avoir une polarité inverse de celle du champ inducteur. Ce phénomène d'autoinversion peut aussi avoir son origine dans le déséquilibre entre les sous réseaux d'un ferrimagnétique. NAGATA, UYEDA et AKIMOTO (1951-1952) ont démontré l'existence du phénomène d'autoinversion sur les dacites du Mt-Haruna. Leurs travaux rejoignent ceux de BALSLEY et BUDDINGTON (1954-1950). Ces auteurs ont mis en évidence l'influence de la nature chimique des mélanges dans le phénomène d'autoinversion. Il est acquis que le mélange : ilménite - hématite peut provoquer une autoinversion (c'est le cas des dacites du Mt-Haruna). Les roches à magnétite ne présentent pas ce phénomène.

2) Instabilité de l'aimantation de certaines roches.

E. THELLIER (1937) a mis en évidence sur le basalte de St-Sauves l'existence de l'instabilité magnétique. Certaines roches volcaniques possèdent un moment magnétique qui varie dans le temps et dans l'espace même si la roche conserve une position fixe. Cette instabilité peut avoir des origines variées et, en particulier, elle peut être le fait d'ATR fragiles. Les roches dont l'aimantation est instable doivent être éliminées dans les recherches paléomagnétiques.

3) Aimantations rémanentes acquises à température constante.

- Aimantation rémanente d'hystérésis = aimantation rémanente isotherme (ARI) .

Si un champ agit sur une roche pendant un temps bref, celle-ci conserve une aimantation d'hystérésis ou ARI; cette aimantation rémanente peut atteindre la saturation pour des champs élevés comme ceux dûs à la foudre. A. ROCHE (1953) puis F. RIMBERT (1958) ont montré que les ARI de champ de foudre étaient surtout localisées au point d'impact; leur importance décroît très vite

solution solide

lorsque l'on s'éloigne de celui-ci car l'influence du champ créé par la foudre décroît très vite.

- Trainage magnétique et aimantation rémanente visqueuse (ARV).

E. THELLIER (1938) a, le premier, fait une étude précise de l'évolution spontanée de l'aimantation rémanente. Il a mis en évidence le trainage de l'aimantation induite en montrant que l'aimantation d'un cylindre de terre cuite, soumis à l'action d'un champ continu pendant un certain temps, voyait son aimantation totale croître rapidement dans les premiers instants puis lentement ensuite, pour pratiquement se stabiliser au bout de quelques jours. Cette croissance de l'aimantation induite avec le temps d'action du champ s'accompagne d'une croissance de l'aimantation rémanente correspondante. Il y a donc trainage de l'aimantation induite et de l'aimantation rémanente isotherme.

Inversement THELLIER a montré aussi que :

"l'aimantation rémanente gardée par les terres cuites,
"après action d'un champ magnétique, à froid, diminue
"avec le temps mais sans disparaître complètement.
"Pratiquement la modification qu'elle a apportée à l'aimantation thermique est, le plus souvent, tout à fait
"négligeable, lorsque les champs ayant agi à chaud,
"puis à froid, ne sont pas fortement différents".

L'importance du trainage magnétique est extrêmement variable d'une roche à l'autre. Dans certains cas, le trainage de fluctuation des constituants ferrimagnétiques est tel que l'aimantation rémanente croît linéairement avec le logarithme du temps d'action du champ. On dit que la roche a acquis une aimantation rémanente visqueuse ou ARV. La théorie de l'ARV des roches repose sur la théorie du trainage de fluctuation établie par NEEL (1951).

Lorsque le champ agissant sur la roche cesse, l'ARV décroît linéairement avec le temps. Les courbes expérimentales établies par E. LE BORGNE (1960) illustrent bien les caractères de la croissance et de la décroissance de l'ARV.

S'appuyant sur ces caractères, E. THELLIER (1959) a proposé un test pour estimer l'importance de l'aimantation visqueuse dans les roches et les terres cuites.

- Aimantation rémanente anhystérétique (ARA)

C'est l'aimantation acquise à la température ordinaire après action simultanée d'un champ continu H et d'un champ alternatif décroissant. F. RIMBERT (1958) en a fait l'étude expérimentale et montré que :

- l'ARA devient sensible lorsque le champ alternatif atteint des valeurs de 200 à 300 Oe. Elle tend vers un maximum pour des champs alternatifs de l'ordre de 500 à 600 Oe. Le maximum croît avec le champ continu mais ne semble pas sensible à la fréquence du champ alternatif dans le domaine exploré (35 Hz à 1200 Hz).

De ses expériences F. RIMBERT conclut (page 53)

"Lorsqu'on fait apparaître une ARA, la rémanence antérieure est détruite par le champ alternatif comme si celui-ci agissait seul et l'ARA est acquise par le corps comme si celui-ci était vierge de toute aimantation.

- L'ARA est toujours de même sens que le champ continu, quelle qu'ait été la direction du champ alternatif".

4) Aimantation rémanente chimique (ARC).

- Si une solution paramagnétique cristallise sous forme de solide ferromagnétique sous l'action d'un champ H l'organisation cristalline sera influencée par H et l'aimantation rémanente dite de cristallisation, ARC, sera très proche d'une aimantation thermo-rémanente.

NAGATA (1961) a exposé un certain nombre de résultats obtenus sur les aimantations de cristallisation. Il n'est donc pas nécessaire de revenir ici en détail sur ce point. Nous dirons simplement que la théorie de l'ARC repose, encore, sur la notion du temps de relaxation définie par NEEL. Le temps de relaxation est en effet une fonction du rapport $\frac{V}{T}$. L'augmentation du volume du grain, V , provoque donc les mêmes phénomènes que l'abaissement de sa

température T. Comme il y a, à volume constant une température de blocage, à température constante il y a un "volume de blocage" et l'on comprend que les caractères de l'ARC soient les mêmes que ceux de l'ATR.

Un tel phénomène peut se produire dans les roches sédimentaires, en particulier dans les grés. Le processus de cristallisation peut s'échelonner dans le temps. La direction de l'ARC totale, qui comme celle de l'ATR est parallèle au champ agissant, ne sera donc pas la direction d'un champ instantané mais intégrera l'ensemble des directions du champ durant le temps de cristallisation.

Dans les roches volcaniques des phénomènes semblables peuvent se produire si il y a apparition de nouveaux minéraux magnétiques (Dévitrification de verres volcaniques, apports fumarolliens ou hydrothermaux) ou altération des minéraux existants. Mais étant donné l'étroite parenté entre ARC et ATR il est très difficile de les séparer et de mettre les ARC en évidence.

5)- Aimantation piézorémanente.

Nous avons vu que tous les facteurs qui influencent la structure cristalline modifient les propriétés magnétiques. En particulier, l'action des tensions extérieures (métamorphisme, injection sous forme d'intrusion) font apparaître des orientations préférentielles dans les cristaux. En ce qui concerne les minéraux magnétiques il y a développement des phénomènes d'anisotropie. Ces propriétés ont été bien étudiées par L. DALY (1970) pour les roches métamorphiques. Dans les roches volcaniques les études sont plus rares mais l'anisotropie peut-être importante. La direction de l'aimantation thermorémanente ne coïncide plus avec celle du champ. Il est donc nécessaire de tenir compte de l'existence possible de ces phénomènes dans une étude paléomagnétique.

Remarques en guise de conclusion.

1) Dans tout ce que nous venons de dire nous avons parlé de champ extérieur. En fait ce qui compte c'est le champ local dans lequel le champ extérieur n'intervient que pour partie. En fonction des hétérogénéités de la roche la direction du champ local fluctue d'un point à un autre autour de celle du champ extérieur. Les lois évoquées ci-dessus ne sont donc valables que pour un ensemble d'échantillons. Pour les roches volcaniques, en particulier, on a pu montrer que la direction de l'aimantation thermorémanente est voisine du champ terrestre seulement si l'on considère la moyenne des directions mesurées sur une population d'échantillons pris dans une coulée. Les variations sont dues à des hétérogénéités dans les coulées. Il faut donc prélever plusieurs échantillons.

2) Plusieurs aimantations peuvent se superposer dans une roche. Il faut analyser les aimantations pour connaître leur origine.

IV) DE L'AIMANTATION THERMOREMANENTE A L'HISTOIRE DU CHAMP TERRESTRE DANS LE PASSE :

L'aimantation thermorémanente des laves permet de reconnaître le champ terrestre qui régnait au lieu et à l'époque de leur épanchement.

Il est donc possible d'aborder une propriété physique de la Terre dans un lieu donné dans le passé.

Ce caractère physique est la résultante d'un phénomène géomagnétique (le champ terrestre) et des caractères magnétiques propres d'une région, liés à sa structure géologique (anomalies locales et régionales). La direction de l'aimantation thermorémanente est la traduction de l'interaction de phénomènes intervenant à différentes échelles d'espace (structure de l'atome, structure du cristal, structure locale et caractère géomagnétique). L'analyse de ces aimantations doit donc permettre de travailler à différentes échelles et en particulier, moyennant certaines méthodes évoquées par L. GLANGEAUD (1968), d'établir des corrélations à l'intérieur des différents niveaux d'organisation, (échelles locales, régionales et mondiales) et entre ces divers niveaux d'organisation.

Si nous envisageons maintenant l'histoire du champ géomagnétique terrestre que l'on peut aborder par le biais de l'ai-

mantation des roches, nous voyons que nous pourrions envisager son étude à diverses échelles de temps et d'espace.

Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de l'analyse physique et mathématique du champ géomagnétique. Plusieurs traités évoquent ces questions avec plus d'exactitude que nous ne pourrions le faire. Nous rappellerons simplement les propriétés essentielles de ce champ :

a) En un lieu donné on peut définir la valeur moyenne du champ pendant un temps donné (1 an).

b) La comparaison, à une époque donnée, de l'ensemble des valeurs moyennes du champ calculées sur divers points du globe permet de penser que, au moins pour les époques historiques, :

- la composante principale du champ est d'origine interne,

- la partie principale de ce champ interne est égale au champ que créerait un dipôle placé au centre de la terre et dont l'axe serait légèrement incliné sur l'axe de rotation. La partie non dipolaire varie de façon continue et définie dans le temps et l'espace.

La direction moyenne du champ terrestre calculée en un lieu donné sur un grand espace de temps doit correspondre à la direction du champ dipolaire. Connaissant avec cette direction les coordonnées du lieu, on peut calculer (cf IRVING (1964) NAGATA (1953)) la position où l'axe du dipôle coupe la surface du globe.

Ce point est appelé pôle géomagnétique virtuel. Il permet de comparer des formations volcaniques séparées dans l'espace. C'est lui aussi qui permet d'aborder la dérive des blocs continentaux et les corrélations à l'échelle géonomique.

N.B. : Ces comparaisons à l'échelle géonomique sont basées sur l'hypothèse suivante :

"La partie principale du champ terrestre a toujours été une composante dipolaire".

Rien ne prouve qu'il en soit ainsi mais il semble bien, qu'au moins depuis le secondaire et le tertiaire, cette hypothèse soit en passe de devenir un postulat pour de grands laps de temps.

Par contre les comparaisons aux échelles régionales, mais surtout locales, basées essentiellement sur la direction du champ terrestre dans un espace limité ne reposent pas sur cette hypothèse. Elles demeureraient valables, au moins en majeure partie, si cette hypothèse devait être un jour abandonnée. Cela montre bien l'intérêt qu'il y a, pour les géologues, à se préoccuper des problèmes que pose l'utilisation du paléomagnétisme en stratigraphie. Quelles sont à priori les paramètres qui sont susceptibles d'intéresser le stratigraphe. Un bon marqueur stratigraphique, au sens le plus complet du terme, ne peut être qu'une propriété ou un caractère lié à un phénomène qui évolue de façon irréversible dans le temps. Le champ magnétique terrestre répond-il à ce critère ? Les études paléomagnétiques réalisées jusqu'à ce jour montrent que :

- 1°) La direction du champ local peut varier de façon considérable dans un temps relativement court en repassant plusieurs fois à la même position. Une direction d'aimantation donnée peut donc caractériser plusieurs époques différentes. La direction d'aimantation ne peut donc pas être un bon critère stratigraphique. Par contre dans une région donnée le champ géomagnétique varie dans le temps de la même façon. La direction et surtout sa variation peuvent donc être envisagées comme un caractère utilisable pour établir des corrélations locales. Sont-elles valables à plus grande échelle ? Cela paraît assez improbable.
- 2°) Le sens du champ magnétique terrestre s'est inversé plusieurs fois au cours des temps géologiques (COX et al. 1969). Le sens de l'aimantation n'est

donc pas non plus un bon caractère stratigraphique mais il peut être un instrument de corrélation dont nous verrons les limites

- 3°) La direction du champ dipolaire peut apparaître aussi comme un outil stratigraphique si cette direction varie de façon continue et irréversible dans le temps. D'après les théories récentes, la position du dipôle géocentrique n'a pas dû s'éloigner beaucoup de celle de l'axe de rotation et, si on observe une variation, il s'agit d'un mouvement apparent dû au déplacement des unités continentales qui ont livré les roches étudiées, par suite de la dérive des continents. L'utilisation de ces mouvements apparents pour les études géotectoniques et stratigraphiques posent des problèmes méthodologiques que nous essaierons d'aborder.

En résumé, les connaissances acquises définissent les lignes directrices du travail que nous allons entreprendre. Il est évident que nous devons à priori nous orienter vers l'établissement de corrélations stratigraphiques locales puisque c'est la seule voie qui débouche sur des perspectives assez larges. A partir des résultats obtenus nous verrons, ensuite, s'il est possible de dépasser ce stade pour aborder les phénomènes à une échelle plus large.

TECHNIQUES UTILISEES.

LES RAISONS D'UN CHOIX :

L'établissement de corrélations stratigraphiques à partir de paramètres magnétiques impose que ces paramètres soient caractéristiques d'une époque et non d'une roche ou d'un point donné. D'après ce que nous avons vu, ce sont les paramètres de l'aimantation thermorémanente qui sont évidemment les plus propices dans un tel travail. Dans le présent travail nous utiliserons presque essentiellement les paramètres qui définissent l'orientation de l'ATR

Les aspects techniques que nous aborderons sont donc les suivants :

- 1) Comment avons-nous obtenu la direction de l'aimantation thermorémanente originelle de nos laves.
- 2) Comment avons nous traité et utilisé les informations obtenues.

Le choix des techniques a été guidé par les impératifs suivants :

- Notre étude était plus orientée vers une illustration qualitative que quantitative* aussi nous souhaitions traiter le maximum de coulées volcaniques.

Ceci entraîne les conséquences suivantes :

- . Nos techniques de mesure devaient être automatisées au maximum.
- . Ces techniques devaient nous donner les renseignements voulus avec le minimum d'échantillons.

- Pour des raisons budgétaires, il était impossible de mettre en œuvre l'ensemble des techniques utilisées en paléomagnétisme. Avec le minimum d'appareils nous devons :

- . Prélever les échantillons nécessaires.
- . Mesurer la direction avec une précision suffisante mais le plus rapidement possible.

* Nous avons préféré illustrer à l'aide de plusieurs exemples quelques cas d'utilisation possible de l'orientation de l'A.T. plutôt que de montrer un seul cas d'utilisation en recherchant la précision.



PHOTOS 1

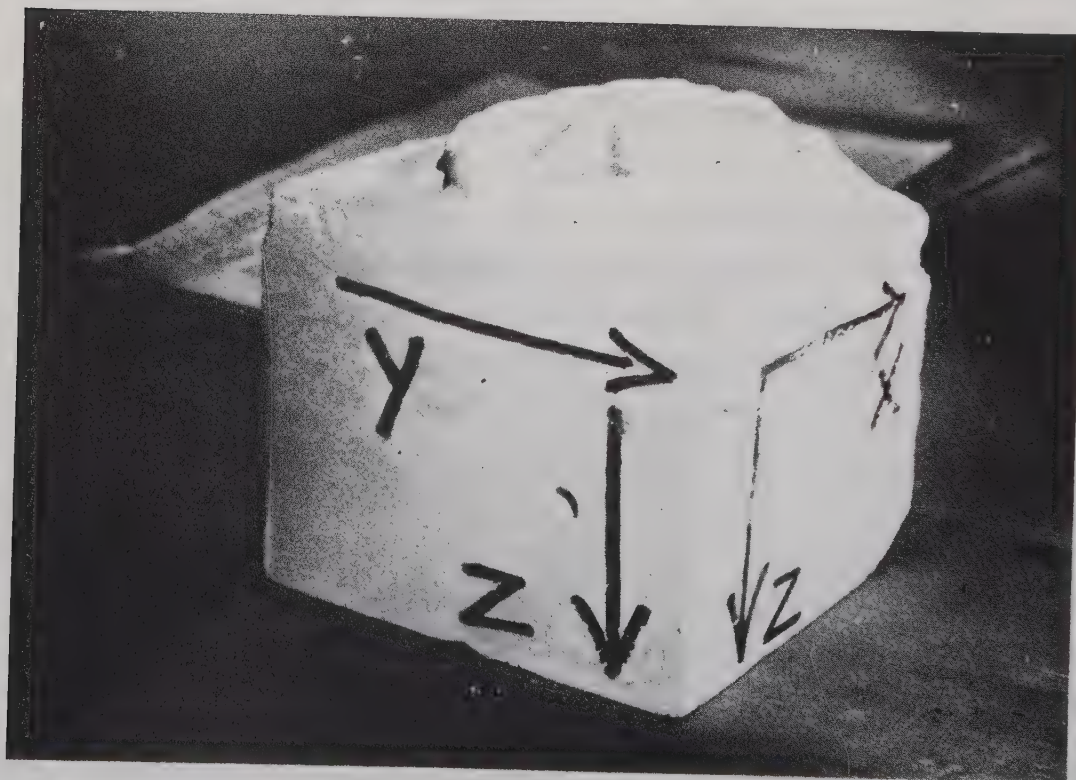


PHOTO 2

1a) échantillon brut

- . Analyser l'aimantation pour reconnaître les aimantations thermo-rémanentes.
- . Traiter le plus rapidement possible les données recueillies.

Nous avons donc choisi, une technique de prélèvement simple; un appareil de mesure; un appareil d'analyse des aimantations; une technique de traitement standardisée.

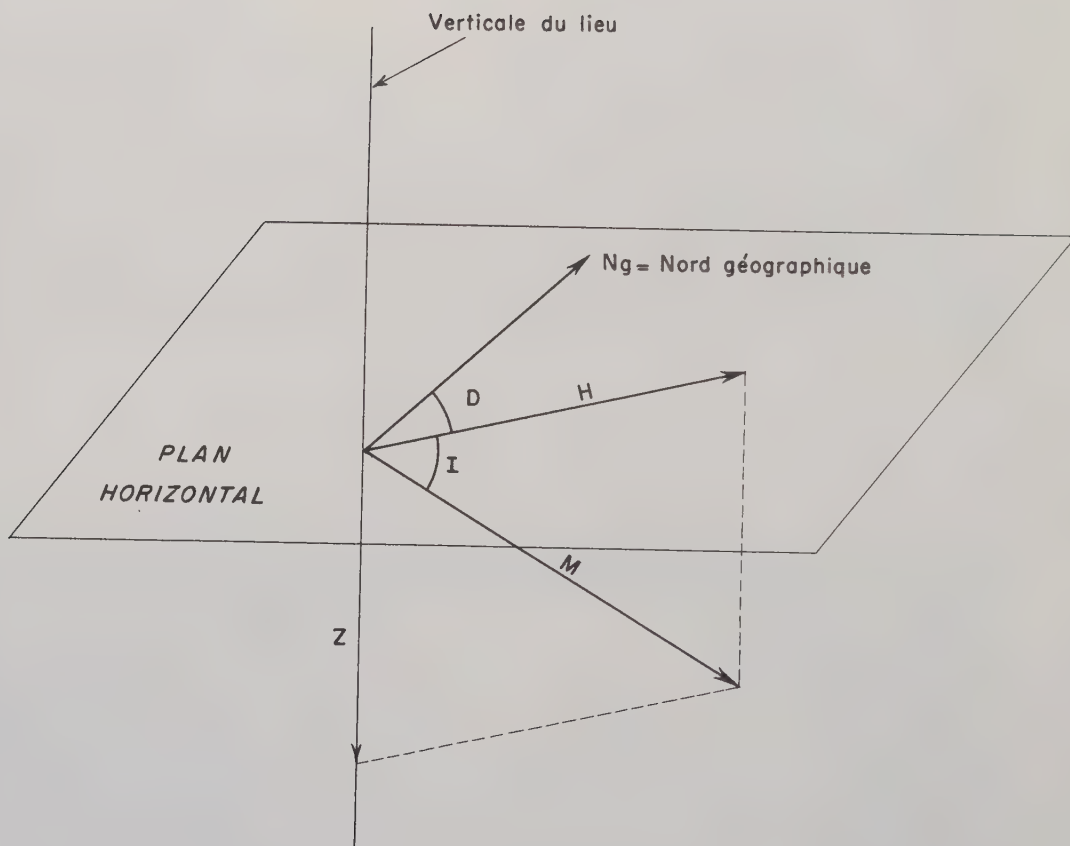
Nous allons maintenant exposer rapidement le mode opératoire choisi.

I) LA TECHNIQUE DE PRELEVEMENT :

1) La prise d'échantillon.

Plusieurs méthodes de prélèvements sont actuellement possibles. Beaucoup de paléomagnéticiens font leurs mesures à partir de cylindres prélevés sur le terrain à l'aide d'un carottier ou d'une foreuse portative (On trouvera une documentation assez fournie sur ce sujet dans l'ouvrage "Methods in paleomagnetism" 1967). Mais ce mode de prélèvements présente l'inconvénient majeur de ne pas pouvoir être utilisé partout sur le terrain. En particulier une personne seule peut difficilement réaliser des coupes systématiques dans un ravin ou aux flancs d'un cirque. C'est pourquoi, nous avons préféré employer une technique très voisine de celle préconisée par E. THELLIER pour les terres cuites. (E. THELLIER, 1938, et in "Methods in Paleomagnetism", 1967). Pour simplifier les manipulations sur le terrain, nous n'avons pas utilisé les moules en prisme droit pour la mise sous plâtre; nous nous sommes contenté de placer un chapeau de plâtre sur lequel nous matérialisons le plan horizontal à l'aide d'un niveau à bulle. Sur cette surface, nous pouvons ensuite tracer les divers repères que nous utiliserons pour définir la direction du Nord géographique et en déduire, après mesure de l'aimantation, sa déclinaison. Le prélèvement sur le terrain se présente sous la forme représentée sur la photo (1a).

2) Orientation des échantillons :



Définition de l'inclinaison I et de la déclinaison D

La direction de l'aimantation est définie par sa déclinaison D et son inclinaison I (Fig. 2). Le chapeau de plâtre permet de matérialiser le plan horizontal et de définir ainsi l'inclinaison.

Pour définir la position du Nord géographique, par rapport à l'échantillon, qui permettra d'accéder à la déclinaison, nous avons utilisé trois méthodes :

- Avec la direction du Nord magnétique nous matérialisons sur le plan horizontal la direction du soleil définie par l'ombre d'un fil à plomb. Connaissant, au moment de l'orientation, l'heure légale du lieu, et les coordonnées géographiques de celui-ci il est possible, à partir des données des Ephémérides Nautiques publiées annuellement par le Bureau des Longitudes, de calculer l'azimut du soleil. On trouvera le calcul dans l'article "The use of the sun compass" de K.M. CREER et M. SANVER (in "Methods in paléomagnétisme" 1967).

- En l'absence de soleil et sur les pentes exposées au Nord, au lieu d'utiliser la direction du soleil, nous avons visé à l'aide d'une règle à éclimètre des points d'azimut connus (Eglise, sommet géodésique). Connaissant le point de prélèvement et à l'aide d'une bonne carte nous avons ainsi pu définir au laboratoire la direction du Nord géographique.

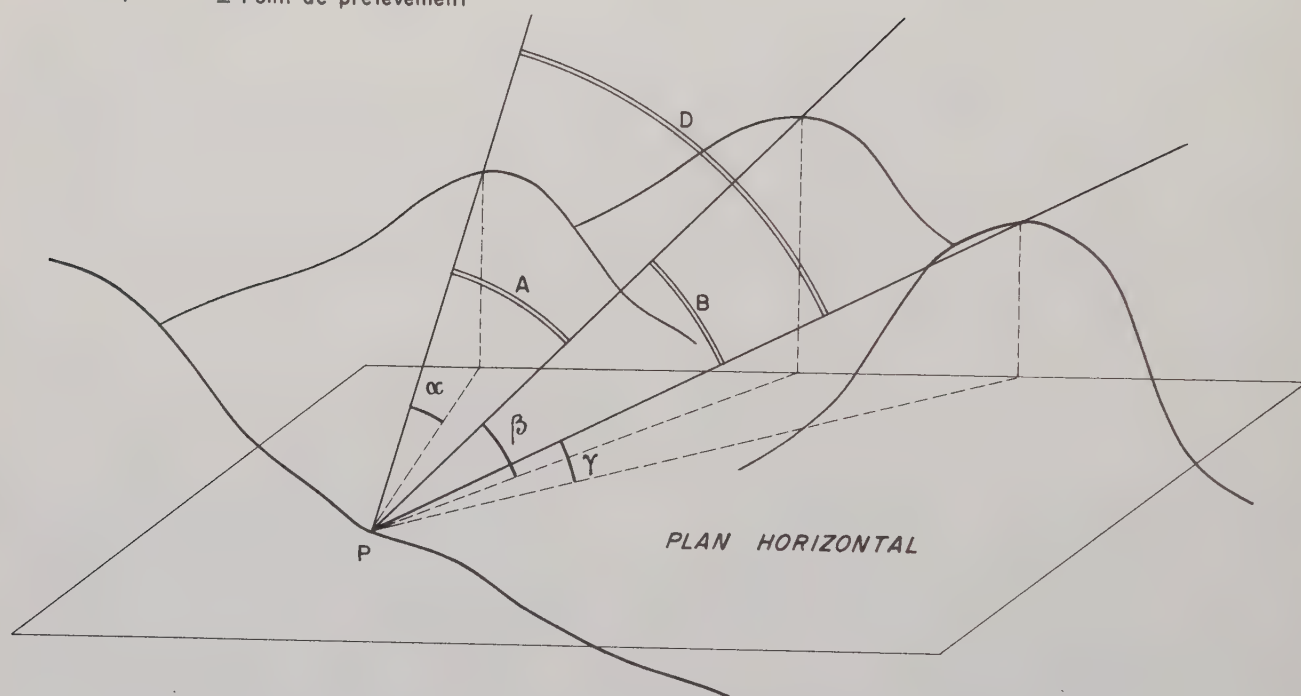
Remarque :

Dans les régions où le point de prélèvement doit être connu avec précision comme dans le Sancy, nous avons utilisé une technique dérivée du point en mer (Fig. 3). Pour cela, nous avons mesuré à l'aide d'un cercle hydrographique les angles $\hat{A}$, $\hat{B}$, $\hat{D}$ sous lesquels nous voyions trois points de coordonnées connues. Dans les régions accidentées nous avons fait des corrections d'altitude et calculé celle du prélèvement en mesurant les élévations

$\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$, des points visés en utilisant une règle à éclimètre.

- Enfin, par temps de pluie ou de brume, nous avons dû quelquefois nous contenter de porter sur le plan horizontal la direction du champ magnétique. Mais si cette technique est valable

- A , B , D - Mesures au cercle hydrographique
 α , β , γ - Mesures à la règle à éclinètre
 P - Point de prélèvement



Détermination du point de prélèvement

pour des roches faiblement aimantées il n'en va pas de même pour celles qui, fortement aimantées, font dévier la boussole. Lorsque la déviation, qui peut atteindre 180° comme par exemple en certains points du sommet de la Banne d'Ordanche dans le Massif du Sancy, est visiblement trop forte on élimine l'échantillon qui est porteur d'une ARI intense. Lorsqu'elle est faible il est parfois difficile de la déceler sur le terrain et l'orientation que l'on déduira sera fausse.

3) Préparation des échantillons pour la mesure.

Dès son arrivée au laboratoire, l'échantillon brut est inclus dans un cube de plâtre à l'aide d'un moule réalisé sur le modèle préconisé par E. THELLIER (1967).

Le plan horizontal est placé parallèlement à l'une des faces du cube (Photo 2). D'une façon générale, nous avons toujours essayé de prélever des échantillons d'une taille supérieure ou égale à celle du moule, la préparation au laboratoire permettant de conserver le volume maximum de lave. Il nous est même souvent arrivé de pouvoir tailler des cubes dans l'échantillon brut et de pouvoir ainsi nous dispenser de l'inclusion dans le plâtre (Photo 1b).

Nous nous sommes toujours efforcé de faire des mesures sur un maximum de matière et cela pour plusieurs raisons :

- Plus l'échantillon est gros, plus nous serons à l'abri des hétérogénéités d'aimantation.

- La valeur du moment magnétique mesuré croît avec la taille de l'échantillon et la précision de l'appareil de mesure que nous avons utilisé est meilleure lorsque l'on travaille sur des moments de valeur moyenne ou forte que lorsque l'étude porte sur des moments de faible valeur.

4) Remarques sur le choix des échantillons dans les sites.

Dans tout ce qui va suivre nous appellerons site un af-

fleurement rocheux sur lequel il est possible de prélever un ensemble d'échantillons distants de plusieurs mètres. L'échantillon est le bloc mesuré. Le point de prélèvement est l'endroit où l'on prend un échantillon.

a) Travaillant sur des blocs de gros volume nous éliminons en grande partie les hétérogénéités de la roche aussi nous n'avons prélevé qu'un seul échantillon par point. Par contre, pour éviter qu'une même ARI de champ de foudre ne perturbe l'ensemble des échantillons pris dans un site, les points de prélèvement sont espacés dans la mesure du possible de 10 à 20m les uns des autres.

b) La circulation des eaux d'infiltration peut provoquer des changements dans les minéraux magnétiques comme le montrent les variations de la susceptibilité*. Nous avons donc toujours veillé à réduire l'influence de ces phénomènes en prélevant au coeur de blocs très sains.

Nous avons aussi évité les zones proches d'autres coulées afin de limiter l'importance, soit des ATR partielles secondaires que pourrait faire apparaître un réchauffement par une coulée postérieure (ceci est valable pour le toit des coulées), soit éventuellement le jeu des anomalies de champ créées par les coulées antérieures (ceci est valable pour la base des coulées).

II) MESURE ET ANALYSE DES AIMANTATIONS :

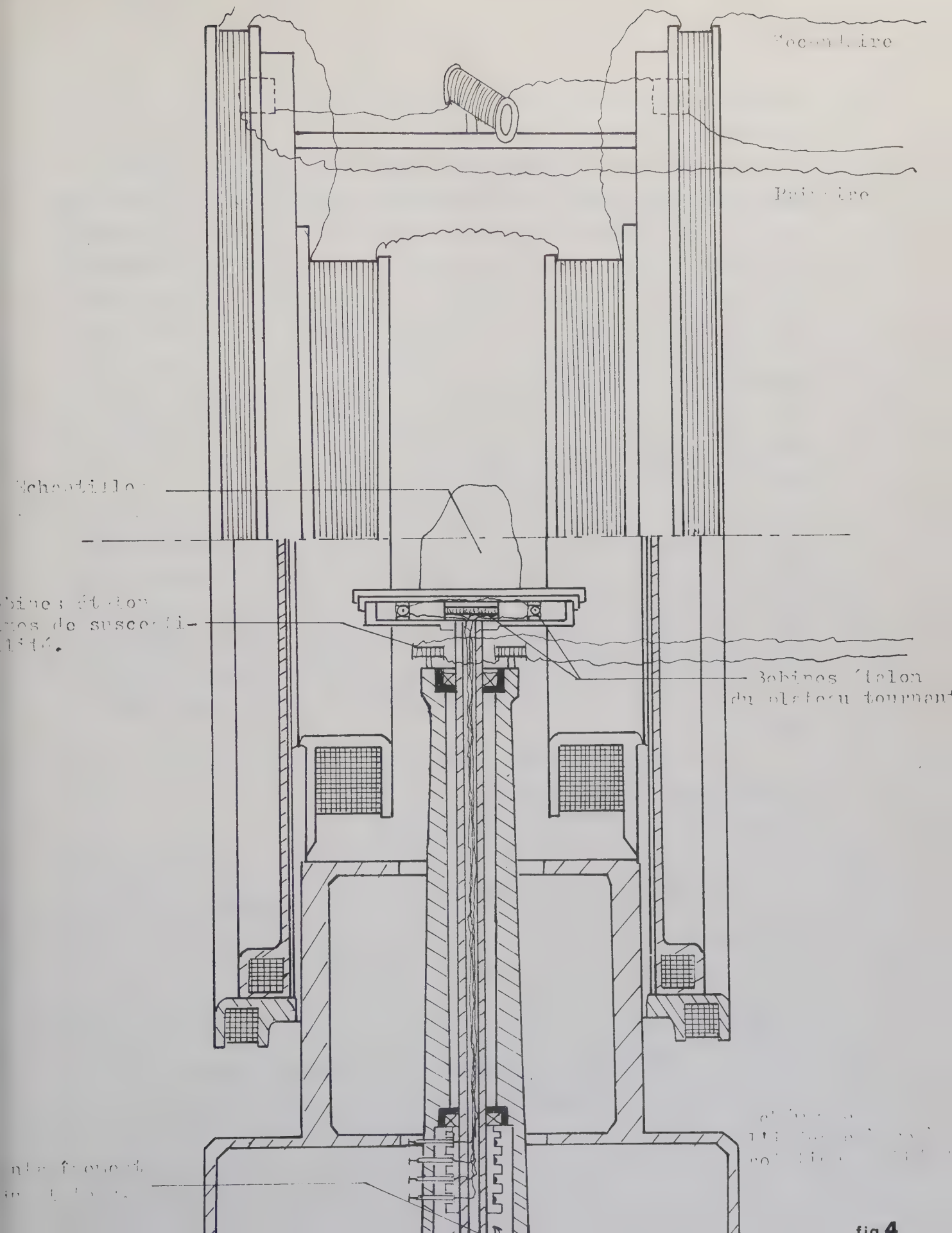
1) La mesure des aimantations :

Les mesures ont été faites à l'aide de l'Inductomètre à rotation THELLIER construit par la Société SERCEL (Fig. 4).

- Principe de l'appareil.

Le premier appareil de ce type a été utilisé par CHEVALLIER (1925). L'appareil que nous employons est plus perfectionné. Il a été construit sur le modèle de celui mis au point au Laboratoire de géomagnétisme du Parc St-Maur. (E. THELLIER, 1967, in "Methods in paleomagnetism"). Nous rappellerons simplement que

* Entre divers points d'une coulée.



l'échantillon cubique est fixé sur un plateau horizontal placé au centre d'un système fait de bobines de Helmholtz à axe horizontal. L'échantillon et le plateau sont animés d'un mouvement de rotation (Fréquence 15Hz) autour d'un axe vertical parallèle à l'un des axes du cube. La composante du moment portée par l'échantillon qui est dans le plan horizontal induit alors dans les bobines de Helmholtz une force électromotrice alternative de fréquence 15 Hz et d'amplitude proportionnelle à la composante inductrice. La mesure de la composante inductrice est faite par une méthode de zéro. Un moment égal et opposé à la composante mesurée est créé en envoyant des courants continus réglables dans deux solénoïdes (Bobines étalons de la Fig. 4) placés dans le plateau et dont les axes orthogonaux sont dans le plan horizontal.

Si l'échantillon est placé de telle sorte que les arêtes du cube perpendiculaires à l'axe de rotation soient parallèles aux axes des bobines étalons on obtient directement les composantes du moment parallèles à ces arêtes. Un système détecteur de phase permet de les mesurer séparément. En retournant ensuite l'échantillon nous arrivons à mesurer successivement les composantes (x, y); (y, z); (x, z) du moment par rapport à un trièdre de mesure défini par les axes du cube.

Si x et y désignent les composantes horizontales, z étant la composante verticale (Fig. 5) on a :

$$\operatorname{tg} \quad I \quad = \quad \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\text{et } \operatorname{tg} \quad d \quad = \quad \frac{y}{x}$$

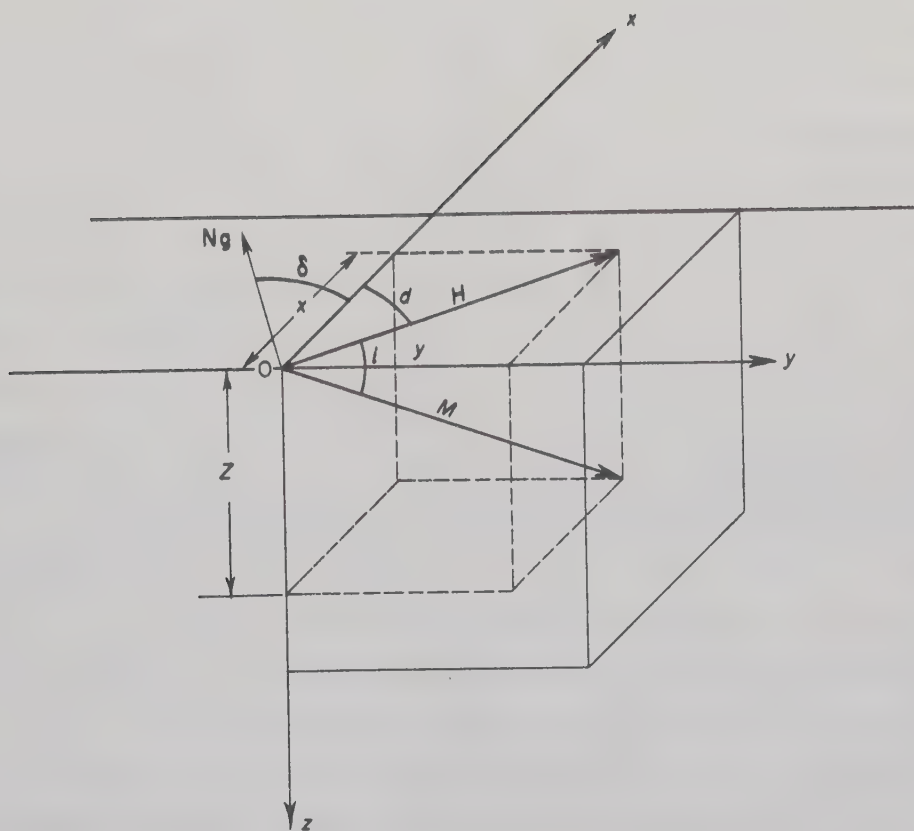
On en déduit : $D = d + \delta$

avec δ = azimut de l'axe O x

$$\text{Le moment est } M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

- Précision de la mesure et précautions prises.

Ce type d'appareil a été choisi parce qu'il permet de



Détermination de M , I et D à partir du trièdre de mesure.

Fig. 5

travailler sur de gros échantillons. (Il permet aussi la mesure des susceptibilités magnétiques). De plus c'était le seul matériel disponible sur le marché au début de notre travail.

. Nous ne rentrerons pas dans le détail de sa construction mais nous évoquerons par contre les difficultés que nous avons rencontrées.

. Au départ, nous utilisions des cubes de 10 cm de côté. Etant donné la forme irrégulière des échantillons inclus dans le plâtre, il était souvent difficile de régler parfaitement le centre de gravité du cube sur l'axe de rotation du plateau. Le mouvement de balourd qui résultait pendant la rotation était souvent prohibitif. Nous avons dû réduire les cubes à 8 cm de côté.

. Le dispositif détecteur de phase est basé sur l'impulsion créée sur une photodiode par le passage d'un rayon lumineux traversant une fente tournant avec l'axe du plateau. Au départ cet ensemble était solidaire du châssis qui soutient le plateau. Mais les vibrations transmises à ce châssis, pendant la rotation du plateau, entraînaient la détérioration de la lampe qui éclaire la fente. Nous avons dû fixer cette lampe sur un support solidaire du châssis porte bobine qui est indépendant du châssis porte plateau.

. Beaucoup de difficultés sont venues du dispositif d'alimentation des solénoïdes du plateau. Le courant transite dans l'appareil utilisé par un système de decade à plots et un contact tournant sur l'arbre du plateau. Les résistances de contact varient par suite de l'usure, de l'encrassement et de l'oxydation par l'air marin. Très souvent nous avons dû nettoyer ces contacts. Pour nous assurer que l'appareil restait fidèle, nous avons fait, périodiquement, des mesures sur des échantillons à aimantation dure et stable étudiés au préalable au Laboratoire de géomagnétisme du Parc St-Maur. De plus, chaque jour, au moment du réglage de l'appareil, nous nous sommes assuré que le même courant envoyé dans l'un ou l'autre des solénoïdes du plateau induisait le même courant dans les bobines

de Helmholtz. Enfin, de temps en temps, en cours de mesure, lorsque le moment de l'échantillon était compensé, nous nous sommes assuré que l'addition d'un courant I dans chacun des solénoïdes du plateau, induisant la même force électromotrice quel que soit le solénoïde traversé et que le courant ainsi induit était le même que celui induit par un courant égal à I agissant en l'absence d'échantillon.

. Pour limiter le bruit phonique et l'influence des courants d'air chaud sur les réglages de l'appareil nous avons enfermé les bobines de Helmholtz dans un coffret de contreplaqué tapissé de polystyrène expansé.

Moyennant ces diverses précautions, nous avons pu faire des mesures convenables. Toutefois, nous n'avons jamais pu utiliser les grandes sensibilités, le bruit de fond de l'équipement électronique d'amplification devenant prohibitif. De ce fait les composantes inférieures à 30×4.10^{-5} u.e.m.c.g.s ne sont mesurées qu'à 50% près.

Remarque.

Les mesures de susceptibilité sont réalisables mais réclament beaucoup plus de soin étant donné la très grande dérive de l'appareil.

En ce qui concerne la précision, elle est bonne pour les composantes comprises entre 20 u.e.m.c.g.s et 8.10^{-3} u.e.m.c.g.s. Les mesures des composantes comprises entre 4.10^{-3} et 4.10^{-5} u.e.m.c.g.s. n'ont, dans la plupart des cas, pas grande signification. Nous devons toutefois noter que nous avons fait de bonnes mesures pour des aimantations faibles (composantes égales à $20.4.10^{-5}$ u.e.m.c.g.s.) mais dures. Le traînage magnétique dans les échantillons porteurs d'aimantations douces et faibles semble être le facteur qui limite la possibilité d'exécuter des mesures significatives. En effet, les mesures des aimantations faibles sont plus longues car il faut s'assurer, pendant un temps assez long, que le zéro obtenu n'est pas lié au bruit de fond de l'électronique.

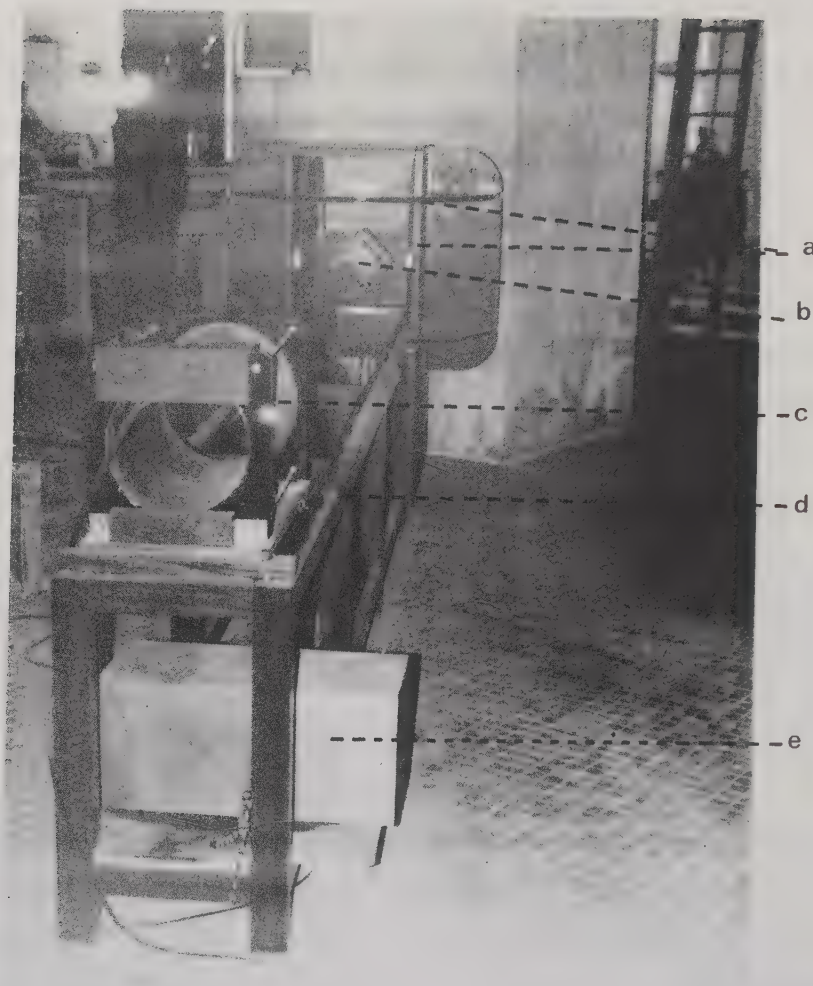


PHOTO 3

APPAREIL A DESAIMANTER

- a) Bobines de compensation du champ terrestre
- b) Porte échantillon tournant
- c) Bobine de champ alternatif
- d) Bâti
- e) Moteur du porte échantillon

La précision des directions obtenues est très variable en fonction des dispositions géométriques et des grandeurs mesurées. Les tableaux donnés en annexe illustrent ce fait.

N.B. : Je tiens à remercier ici A. CARLES qui nous a aidé dans la mise au point des appareils, la préparation des échantillons et la réalisation des mesures.

2) L'analyse des aimantations :

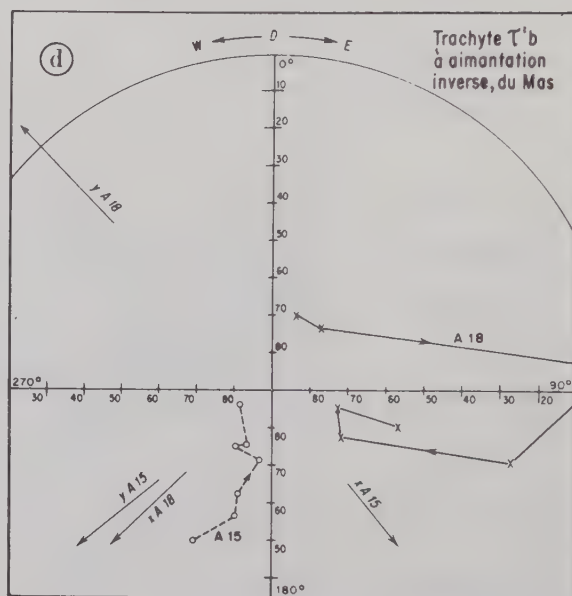
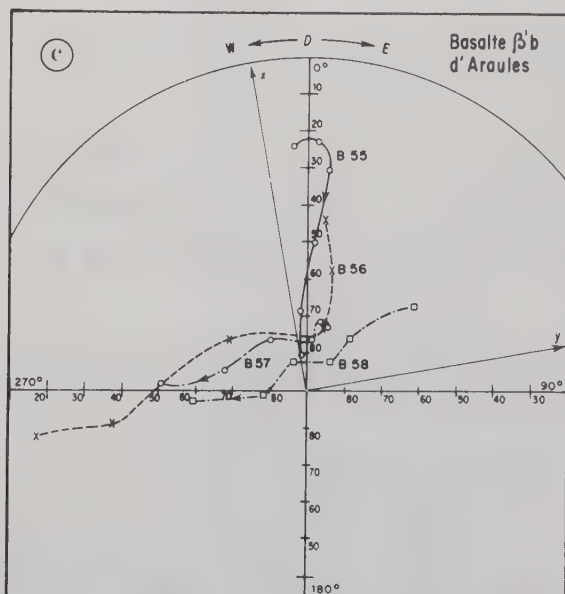
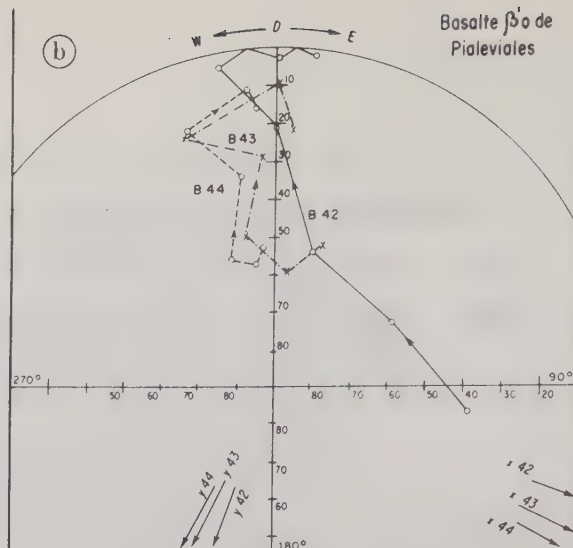
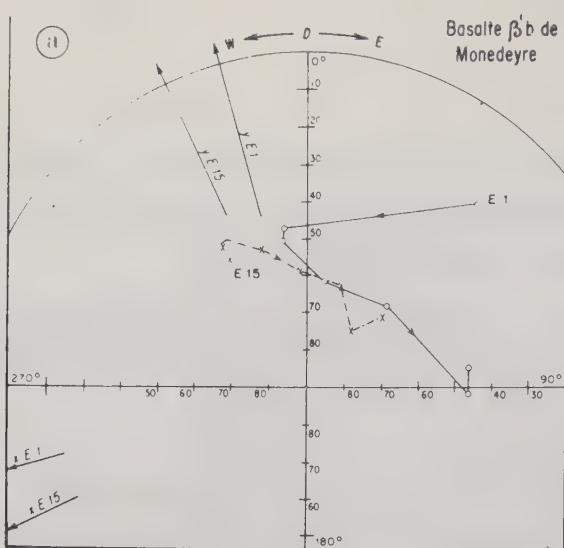
Pour analyser la nature des aimantations, nous avons adopté la technique de désaimantation par champ alternatif bien étudiée par F. RIMBERT (1958). Nous avons construit l'appareil au laboratoire (photo 3) sur le même principe que celui utilisé au Laboratoire du Parc St-Maur.

- Les échantillons sont placés au centre de 2 paires de bobines de Helmholtz perpendiculaires qui servent à compenser le champ terrestre. La compensation du champ a été réglée de la manière suivante :

a) Réglage grossier du courant de compensation en utilisant une boussole de déclinaison et une boussole d'inclinaison. Nous tenons à remercier Monsieur le Professeur THELLIER qui nous a prêté la boussole d'inclinaison.

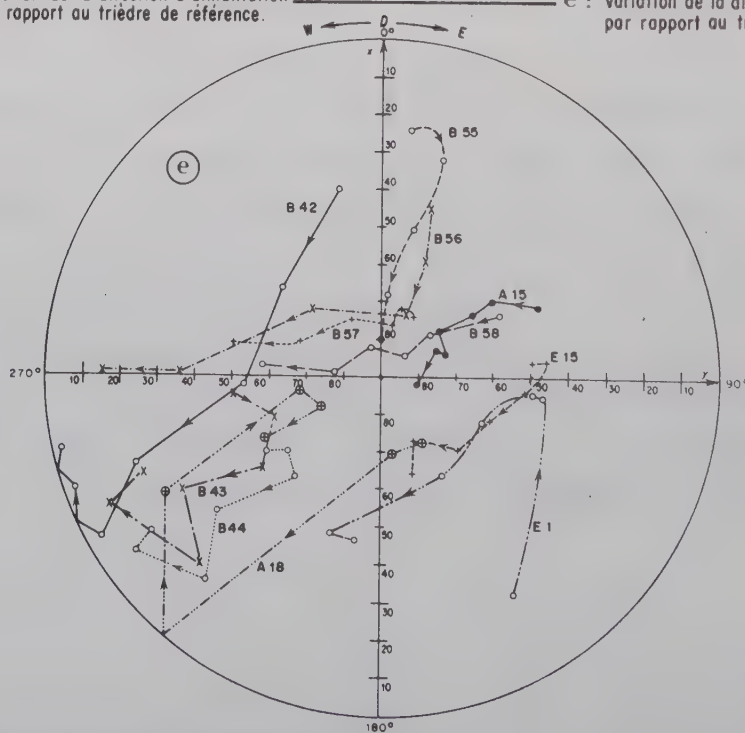
b) Réglage fin par mesure, à l'aide d'un galvanomètre balistique, du courant induit dans une bobine plate multi-spires déplacée dans la zone de champ nul. Le réglage est considéré comme bon lorsque le courant induit est nul.

Ce réglage est suffisant et les ARA qui peuvent apparaître n'interviennent pas si l'aimantation est moyenne ou forte. Lorsque l'aimantation est faible les ARA peuvent cependant parasiter de façon notable l'aimantation. Quand nous redoutions son influence, nous avons fait plusieurs désaimantations au même palier (600 Oe. par exemple). Pendant chaque désaimantation l'échantillon garde une position fixe mais l'orientation de l'échantillon dans l'appareil à désaimanter est modifiée d'une désaimantation à l'autre. Si l'on ^{fait} après chaque désaimantation, une mesure



a, b, c, d : variation de la direction d'aimantation par rapport au trièdre de référence.

e : variation de la direction d'aimantation par rapport au trièdre de mesure.



on peut éliminer l'ARA dont on sait qu'elle est toujours parallèle au champ continu résiduel. Pour affiner le réglage de la compensation nous avons, dans certains cas, ajusté les courants de telle sorte que des échantillons sensibles à l'ARA présentent, pour la même valeur du champ alternatif, des moments identiques quelle que soit leur position.

Remarque.

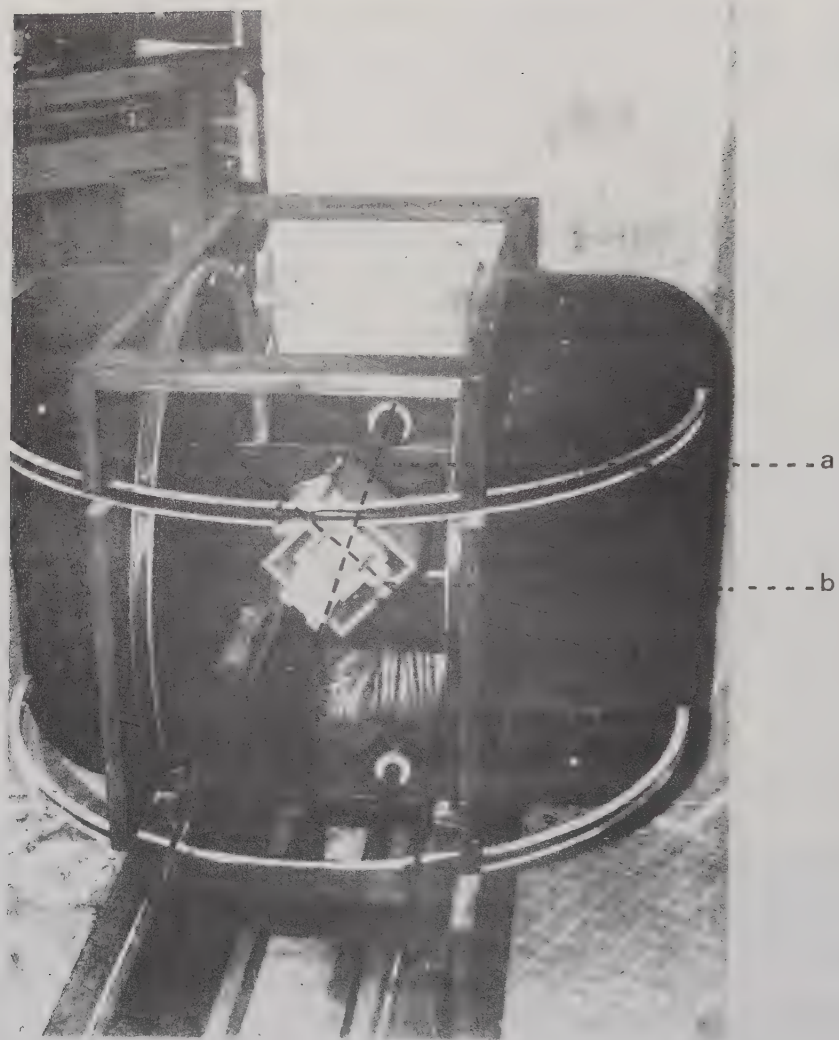
Considérons un ensemble d'échantillons provenant d'un même site. Sans être identique pour tous les échantillons, l'aimantation présente, souvent, les mêmes caractéristiques et le même ordre de grandeur (Fig. 17, 18, 33, 52). Si nous prenons la précaution de placer le trièdre de mesure* de tous les échantillons dans la même position, au même palier de désaimantation (par exemple 600 Oe.), nous ferons apparaître des ARA dont la direction d'aimantation, définie par rapport au trièdre de mesure, sera la même pour tous les échantillons. Si nous faisons pour plusieurs paliers la même opération, la direction d'aimantation tendra vers la même limite par rapport au trièdre de mesure pour tous les échantillons. Par contre, du fait que sur tous les échantillons la direction du Nord géographique n'occupe pas la même position dans le trièdre de mesure la limite de la direction d'aimantation ne sera pas la même par rapport au Nord géographique.

Nous voyons que nous avons là un moyen de juger si une ARA vient entacher les mesures exécutées sur un site. La figure (6) illustre ce fait.

Dans les figures 6 a, b, c et d établies d'après les mesures de M. MACLE (1967), nous avons reporté la variation de la direction d'aimantation des échantillons provenant de quatre sites différents par rapport au trièdre de référence. (Nord géographique, Est, verticale du lieu).

Dans les sites 6 a, b et c la position du trièdre de référence par rapport au trièdre de mesure (x, y, verticale du lieu) est très proche d'un échantillon à l'autre. Cette disposition pourrait faire croire que les variations observées sont caractéristiques de chacune des formations. Il s'agit en fait d'un artéfact car si l'on reporte sur un même diagramme (fig. 6 e) la variation de la direction d'aimantation de tous les échantillons telle qu'elle est obtenue par rapport au trièdre de mesure, on constate que toutes les directions convergent vers la zone caractérisée par des coordonnées x et y négatives. Une composante commune à tous les échantillons apparaît donc durant la mesure. Il ne peut s'agir que d'une ARA dont la composante principale est parallèle au plan horizontal des échantillons.

* Défini par Ox, Oy, Oz.



a: axe de rotation horizontal
b - - - - - tournant
dans un plan vertical

PHOTO 4

En 1966 nous ne possédions pas d'appareil tournant dans le dispositif de désaimantation. A chaque palier l'échantillon était successivement désaimanté en plaçant x parallèle au champ alternatif, puis y , puis z .

Le processus de désaimantation étant toujours le même, les trièdres de mesure occupaient toujours la même position dans l'appareil à désaimanter à la fin de chaque désaimantation complète. La mauvaise compensation du champ terrestre entraînait ainsi l'apparition d'une aimantation anhystérétique parallèle au champ continu résiduel, sur tous les échantillons, dont la direction était fixe par rapport au trièdre de mesure.

A la suite du travail de M. MACLE nous avons, d'une part, complété notre méthode de compensation du champ terrestre, d'autre part, veillé en mettant les échantillons d'un site sous plâtre, à ce que le trièdre de référence n'occupe pas la même position par rapport au trièdre de mesure d'un échantillon à l'autre. La méthode de traitement que nous avons utilisée permet de voir rapidement si une ARA apparaît en cours de mesure. (Dans ce cas les directions d'aimantation convergent vers une même direction par rapport au trièdre de mesure, mais divergent par rapport au trièdre de référence en fin de désaimantation).

- Le champ alternatif est créé par un solénoïde épais à axe horizontal. La décroissance du champ est assurée par le déplacement horizontal de la bobine sur un bâti long de 5 mètres. Pour compenser les courants induits, dans les bobines de compensation de champ, par le courant alternatif, l'axe de la bobine mobile coïncide avec l'axe de symétrie horizontal parallèle aux plans des bobines et commun à celles-ci.

- F. RIMBERT (1958) a montré que la désaimantation était plus ou moins forte suivant l'angle que fait le moment détruit avec la direction du champ alternatif. Pour obtenir des courbes de désaimantation comparables d'un échantillon à l'autre, ceux-ci sont placés dans une boîte qui tourne suivant deux axes orthogonaux à des vitesses différentes à l'aide d'un système de poulies (photo 4). Les moments passent tous ainsi près d'une position voisine de la direction du champ alternatif et sont tous ainsi attaqués sous un angle favorable. Ce dispositif a aussi l'avantage de réduire, en partie, l'influence des ARA par compen-

sation mutuelle. Par contre la direction de l'ARA qui peut apparaître devient aléatoire et peut introduire une certaine dispersion des directions mesurées.

N.B. : Nous tenons ici à remercier MM. FLUCHA et CARLES qui ont discuté avec nous la mise au point de l'appareil et assuré sa réalisation.

3) Tests de viscosité :

Pour juger de l'influence de la viscosité magnétique nous avons utilisé deux méthodes.

a) La méthode de retournement dans le champ terrestre préconisée par E. THELLIER (1959).

b) Cette technique étant longue nous avons souvent préféré utiliser un autre moyen. :

Après désaimantation dans un champ de 400 Oe l'aimantation est mesurée (composantes x_{400-1} , y_{400-1} , z_{400-1}) puis l'échantillon est placé dans le champ terrestre pendant un ou deux mois, parfois un an. Passé ce délai une nouvelle mesure est effectuée (composantes x_{400-2} , y_{400-2} , z_{400-2}). Une nouvelle désaimantation à 400 Oe est réalisée pour juger de la stabilité de l'aimantation dure (composantes x_{400-3} , y_{400-3} , z_{400-3}).

Si, aux erreurs de mesure près, $x_{400-1} = x_{400-3}$

$$y_{400-1} = y_{400-3} \quad \text{et} \quad z_{400-1} = z_{400-3}$$

nous sommes sûrs que l'aimantation ainsi obtenue après désaimantation à 400 Oe est stable. Nous pouvons alors définir la viscosité par ses composantes :

$$\Delta_x = x_{400-2} - x_{400-1} \quad \Delta_y = y_{400-2} - y_{400-1}$$

$$\Delta_z = z_{400-2} - z_{400-1}$$

Le moment visqueux est

$$\Delta_M = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}$$

Remarques :

1) Nous avons observé, sans faire une étude systématique, que pour une même durée d'action du champ terrestre l'aimantation visqueuse est plus forte après action d'un champ alternatif qu'avant.

2) Ce test nous donne aussi une indication sur la fidélité de l'appareil de mesure et nous a aussi permis de déceler l'influence d'ARA accidentelles dans un ou deux cas.

III) TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES MESURES :

Nous avons vu que les lois qui régissent l'aimantation des laves ne sont valables que pour des moyennes calculées sur plusieurs échantillons. Plusieurs méthodes sont utilisables mais, pour calculer la direction moyenne de l'aimantation d'un site, nous avons choisi celle de FISHER (1953). On trouvera un exposé complet concernant son emploi en paléomagnétisme dans le traité de IRVING (1964). Nous dirons simplement que cette méthode n'est applicable que pour un nombre d'échantillons par site égal ou supérieur à trois. C'est pourquoi, nous avons prélevé le plus souvent au moins trois échantillons, parfois quatre ou cinq, suivant la dimension du site.

Pour avoir une bonne précision dans les directions il serait nécessaire de prélever 6 à 10 échantillons par site. Cela augmente évidemment le temps de prélèvement d'une part mais aussi, par suite du poids des échantillons, l'exécution de certaines coupes dans le massif du Velay et le Massif du Sancy nécessiterait deux ou trois jours de travail pour un ravin ou un cirque alors que si on se limite à 3 échantillons la coupe complète est réalisable en une journée.

Comme nous n'avons pu disposer que de 44 semaines entre le 1er Janvier 1963 et le 31 Décembre 1969 pour effectuer nos études de terrain (Etude géologique et prélèvements) en France (Velay, Devès, Sancy) au Portugal, en Algérie et au Mexique et que nous nous attachions, comme nous l'avons dit, plus à l'aspect qualitatif d'une méthode, qu'à une étude quantitative précise nous avons, dans la plupart des cas, limité le nombre d'échantillons à 3. Ce nombre, est effectivement insuffisant pour espérer des résultats précis.

Mais nous devons noter que :

1°) Travaillant sur des échantillons assez volumineux

nous limitons les fluctuations dues aux hétérogénéités de la roche.

- 2°) La sélection des échantillons à laquelle nous avons procédé sur le terrain tend à éliminer au maximum les influences parasites : altération, ATR secondaires, ARI etc)
- 3°) L'analyse des aimantations sera exécutée complètement sur les 3 échantillons pour permettre la recherche des caractères des aimantations communes aux trois échantillons.

En conséquence si les directions moyennes calculées le sont avec une certaine incertitude, nous pensons que les directions obtenues sont néanmoins suffisamment significatives et caractéristiques des coulées, tout au moins dans le cadre des applications que nous envisageons.

Pour interpréter les aimantations nous avons tenu compte :

- 1) De leurs directions.
- 2) De la forme des courbes $\frac{M_H}{M_0} = \Phi (H \sim)$

M_H = Moment après désaimantation dans un champ alternatif efficace H.

M_0 = Moment initial

F. RIMBERT (1958) et M. PREVOT (1963) ont donné des exemples d'interprétation de ces courbes lorsque les aimantations sont multiples.

3) Enfin pour combiner la grandeur et la direction des aimantations ZIJDERVELD a exposé (ZIJDERVELD, 1967 in "Methods in Paleomagnetism") comment utiliser les projections du vecteur aimantation dans les plans xOy et xOz ou yOz pour représenter l'évolution des aimantations et en déduire leur nature. Pour accéder directement à l'inclinaison et à la déclinaison, nous avons utilisé les projections dans le plan xOy et la forme de la courbe

$$z = f (I)$$

avec H = composante horizontale du moment
magnétique

$$\text{soit } (H) = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Pour effectuer les calculs et tracer les graphiques nous avons mis au point avec J.D. SYLVAIN et J. POUTIERS un programme de traitement sur l'ordinateur de l'Observatoire de NICE. Ce programme permet d'obtenir :

- La composante horizontale H = plan
- Le moment résultant M = vecteur
- Les limites de la déclinaison, compte tenu de la précision des mesures.
- Les limites de l'inclinaison compte tenu de la précision des mesures.
- Le rapport $\frac{M_H}{M_0}$ = Repar.
- La variation $\frac{M_{H1} - M_{H2}}{H_1 - H_2}$ = Del repar.

H_1 et H_2 étant la valeur du champ alternatif efficace pour deux paliers consécutifs.

$$\text{Le logarithme du rapport } \frac{M_H}{M_0} = \text{Log Re}$$

La courbe $\text{Log Re} = \Psi (H \sim)$ permet dans certains cas d'exagérer les caractères de la courbe.

$$\frac{M_H}{M_0} = \Phi (H \sim) \text{ et de mieux séparer les ARI et les ATR.}$$

Des exemples de tableaux ainsi obtenus sont donnés en annexes.

Un traceur Benson branché sur l'ordinateur permet d'obtenir pour chaque échantillon (fig. 8 à 16) les tracés des courbes :

$y = U (x)$ standardisée sur la valeur maximum de la composante horizontale de l'échantillon.

$z = f (H)$ standardisée sur le moment maximum de l'échantillon.

$$\text{La courbe } \frac{M_H}{M_0} = F(I \sim \text{eff})$$

Nous utilisons $I \sim$ Amp. eff. au lieu de $H \sim$ car les paliers choisis correspondent à des intensités simples. Le champ $H \sim$ est voisin de 100 Oe eff. pour $I \sim = 1$ Amp. eff.

Dans certains cas, nous avons ultérieurement porté sur un même graphique les courbes correspondant à un site, ce qui permet de comparer les courbes et de juger des caractères communs (Fig. 17 à 54). Enfin nous avons parfois utilisé dans notre mémoire des diagrammes intermédiaires (Fig. 69-70-71 par exemple). Dans ces diagrammes nous reportons d'une part sur un premier graphique les courbes $\frac{M_H}{M_0} = F(I \sim \text{eff})$ obtenues au traceur Benson pour tous les échantillons provenant d'un site et d'autre part sur un deuxième graphique les courbes $z = f(H)$ obtenues au traceur Benson pour les mêmes échantillons.

Remarques :

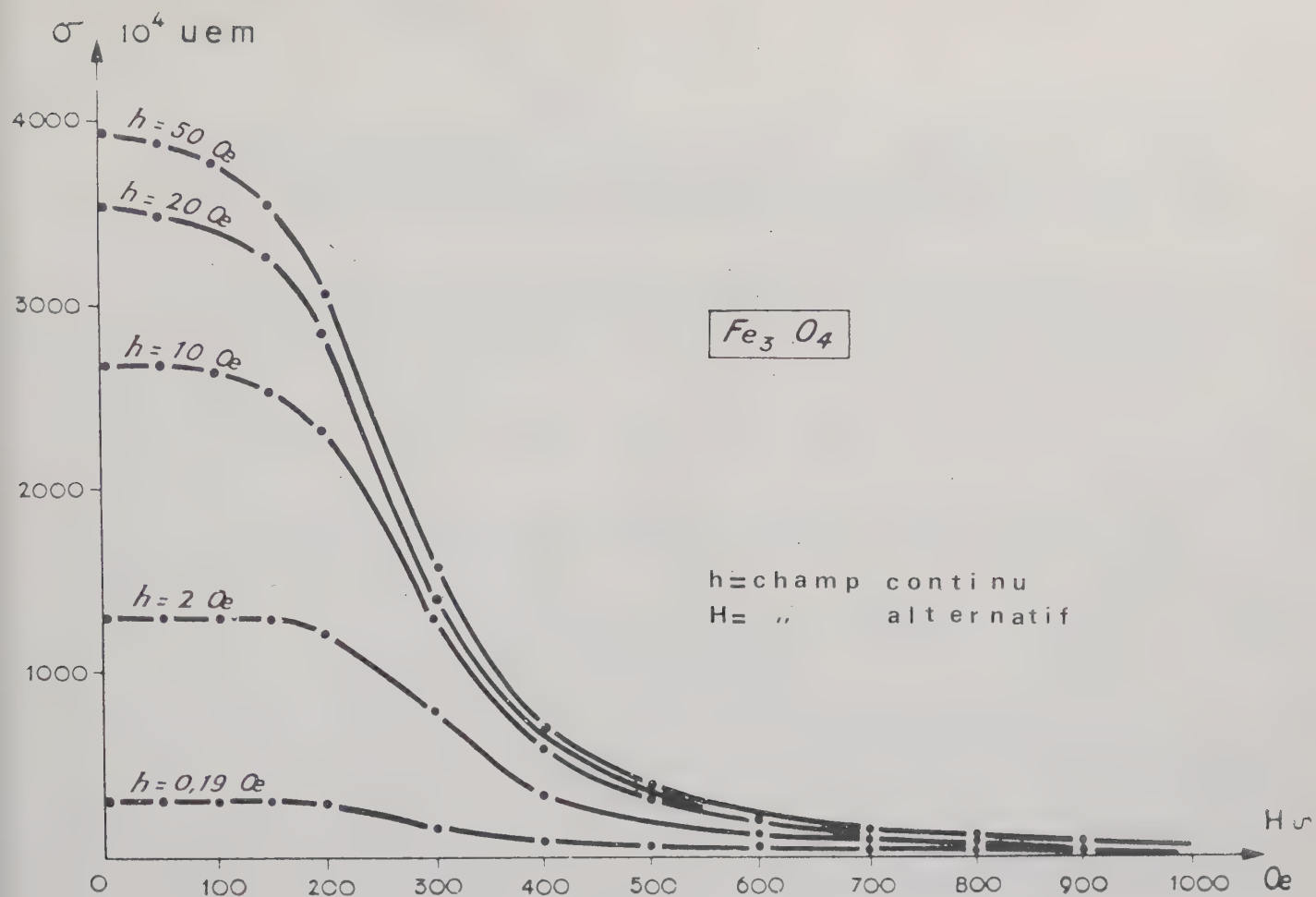
- 1) F. RIMBERT (1958) a montré (fig. 7) que pour un même échantillon les courbes $\frac{M_H}{M_0} = \Phi(H \sim)$ des ATR étaient toutes au dessus de la courbe $\frac{M_H}{M_0} = \bar{\Phi}(H \sim)$ qui correspond à un moment M_0 dû à une

ARI à saturation. Si donc on a une hésitation dans l'interprétation entre ATR et ARI il suffit de provoquer une ARI à saturation dans l'échantillon et de la désaimanter. Si la courbe de désaimantation de l'aimantation naturelle est au dessus de la courbe de désaimantation de l'ARI à saturation cette aimantation naturelle était une ATR si elle reste au dessous il s'agit d'une ARI.

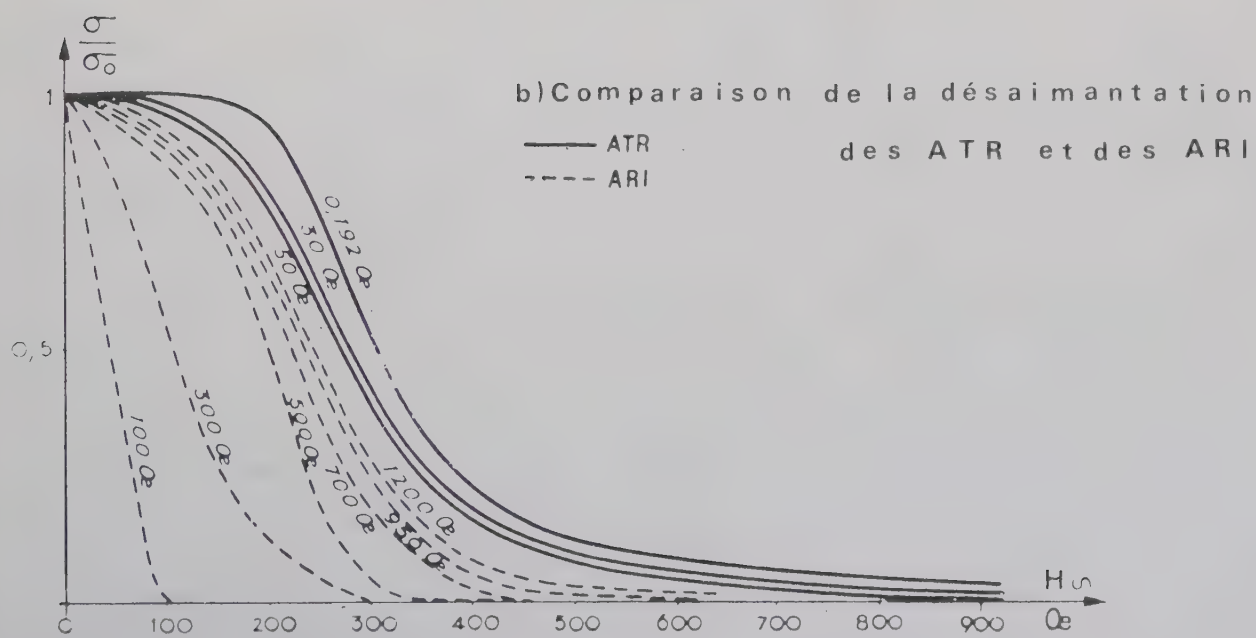
Nous avons quelquefois utilisé ce test mais, n'étant pas équipés pour obtenir des champs continus intenses, nous n'avons pas pu le faire souvent. Par contre nous avons souvent utilisé un test d'ATR dérivant de cette propriété. Très souvent, étant donnée la sélection imposée lors des prélèvements, les ATR des échantillons provenant d'un même site sont comparables (Echantillons 67 M 11 02 et 67 M 11 03 Fig. 30 et Echantillons 67 M 26 16 à 19 fig. 17). La coupe de l'ATR semble donc être souvent caractéristique de la plupart des échantillons d'un site.

Si dans un site où les ATR présentent cette propriété l'un des échantillons est porteur d'une ARI proche de la saturation, sa courbe de désaimantation sera au dessous de celle des ATR.

Partant de cette constatation et en généralisant, si dans



a) Courbes de désaimantation d'ATR artificielles



(D'après F. Rimbert 1958)

Fig:7

un site un échantillon présente une ARI très forte, les courbes de désaimantation situées au dessus de celle de cet échantillon, correspondent probablement à des courbes de désaimantation d'ATR. Nous avons donc là un indice utilisable pour séparer ATR et ARI. (Fig. 19-22-23-24-27-29-40).

Enfin un second programme permet de faire les calculs de direction moyenne par la méthode de FISHER sur ordinateur.

CONCLUSION : EXEMPLES D'INTERPRETATION DES RESULTATS

Les figures 8 à 54 donnent quelques exemples d'interprétations obtenues soit à la lecture directe des graphiques donnés par le traceur Benson (Fig. 8 à 16) soit par l'étude des graphiques construits pour l'ensemble des échantillons d'un site (Fig. 17 à 54).

a) Etude des courbes issues du traceur Benson (Fig. 8 à 16)

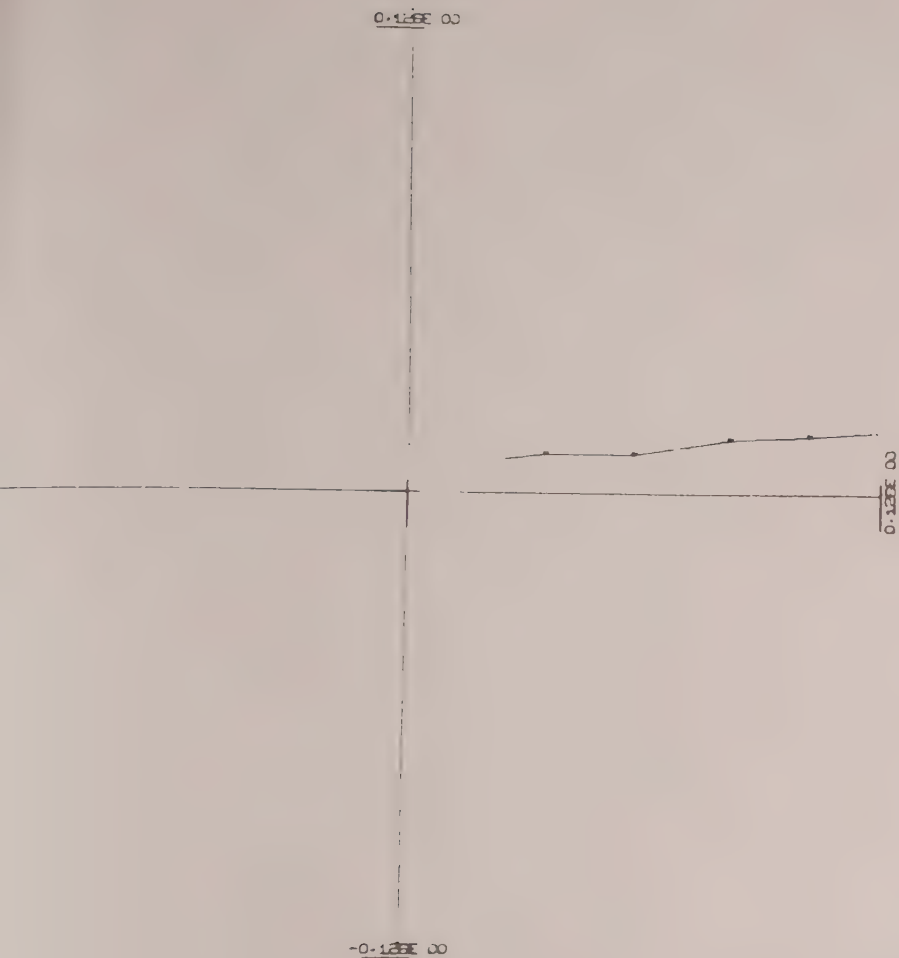
- Fig. 8 et 9 - Echantillons 6 V 20 30 et 6 V 20 27 : Basalte des Sites E₁ et E₂ Devès. $30: Mo = 215 \times 4.10^{-3}$; $27: Mo = 518 \times 4.10^{-3}$ uemCGS)
ATR normale avec légère ARV.
- Fig. 10 et 11 - Echantillons 6 V 20 22 et 6 V 20 24 : Basalte du Site E₁ Devès. $22: Mo = 441 \times 4.10^{-4}$; $24: Mo = 173 \times 4.10^{-3}$ uemCGS
ARV douce avec ATR inverse douce.
- Fig. 12 - Echantillon 6 V 18 29 : Basalte du Site B₄ du Devès : coulée supérieure du Crozas. $Mo = 914 \times 4.10^{-4}$ uem CGS
ATR normale douce pratiquement pure.
- Fig. 13 - Echantillon 65 AC 09 : Basalte du château d'eau de St. Front. $Mo = 488 \times 4.10^{-3}$ uem CGS
ARV sur ATR inverse douce.
- Fig. 14 - Echantillon 10 H 07 : Microdiorite du Site 2 de Herbillon. $Mo = 22 \times 4.10^{-5}$ uem CGS
l'ATR est sans doute inverse mais l'incertitude due aux erreurs de mesure rend la direction incertaine.
- Fig. 15 - Echantillon 05 H 07 : Microdiorite du Site 1 de Herbillon. $Mo = 789 \times 4.10^{-3}$ uem CGS
l'ARV est prédominante sur l'ATR inverse faible.

Fig. 16 - Echantillon 13 H 07 : Microdiorite du Site 2 de
Herbillon. $M_0 = 7 \times 4 \cdot 10^{-5}$ uem CGS
L'aimantation mesurée n'a ici aucun sens.

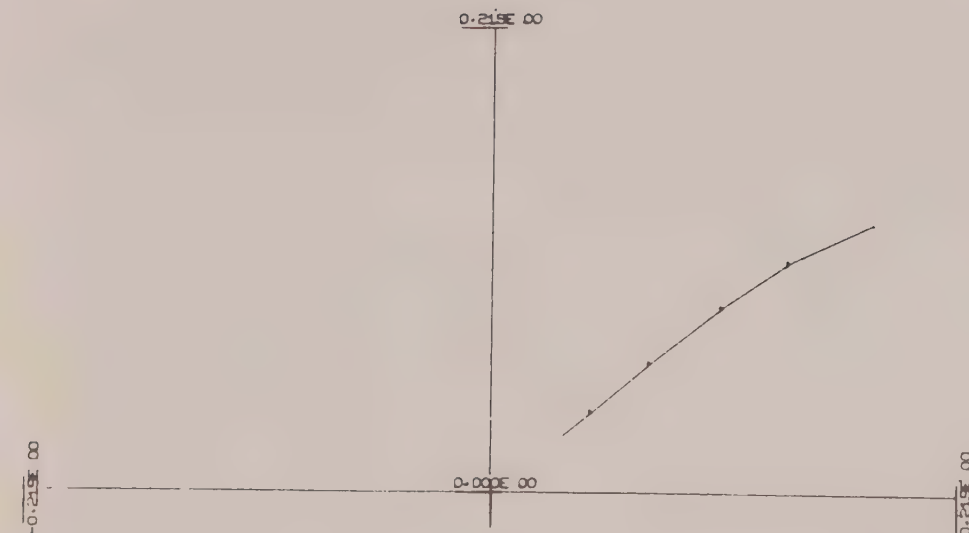
b) Etude des courbes construites pour les échantillons
d'un site.

ECHANTILLON NUMERO 6V2030

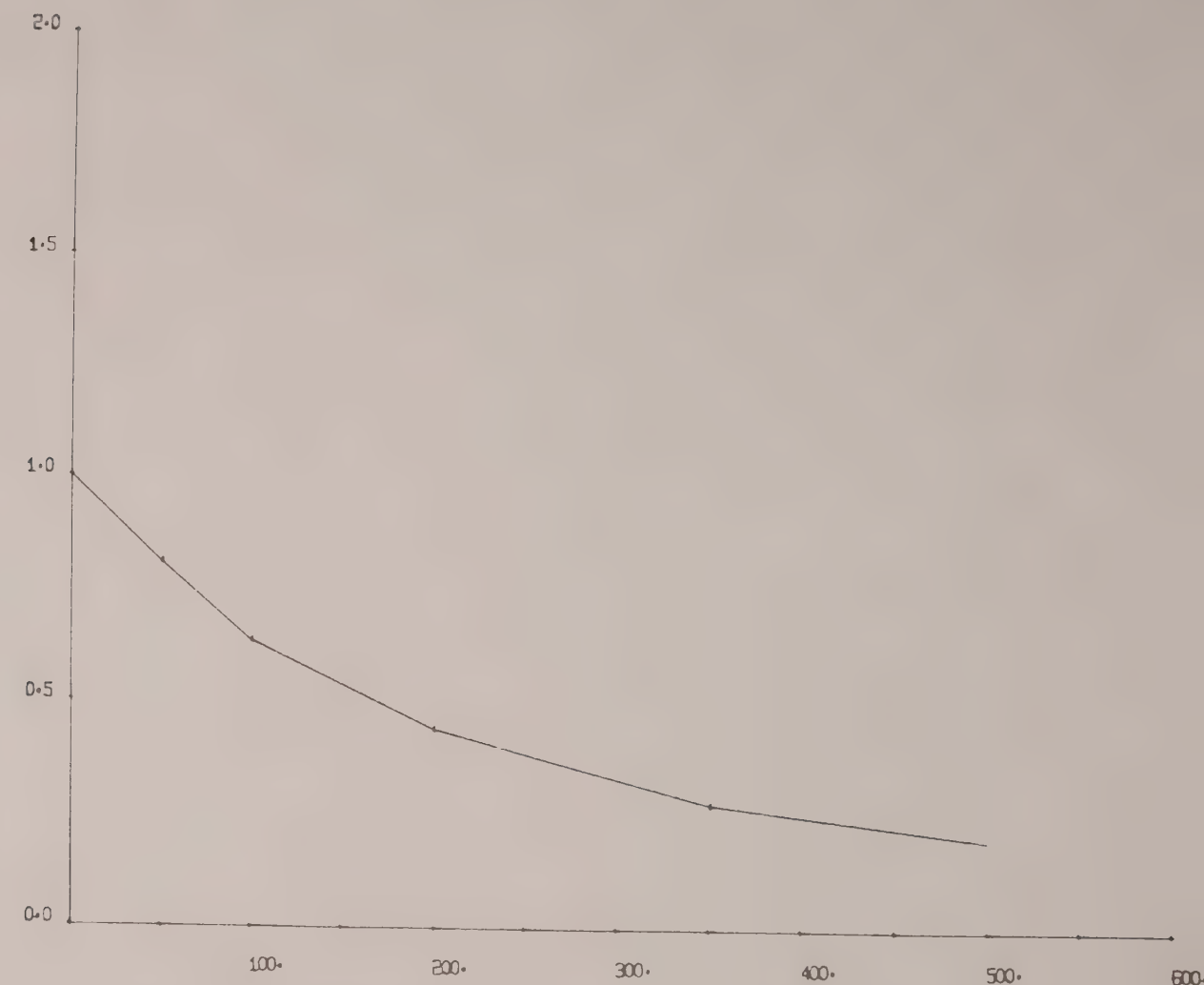
BASALTE - SITE E3 - DEVES



Y=F DE X



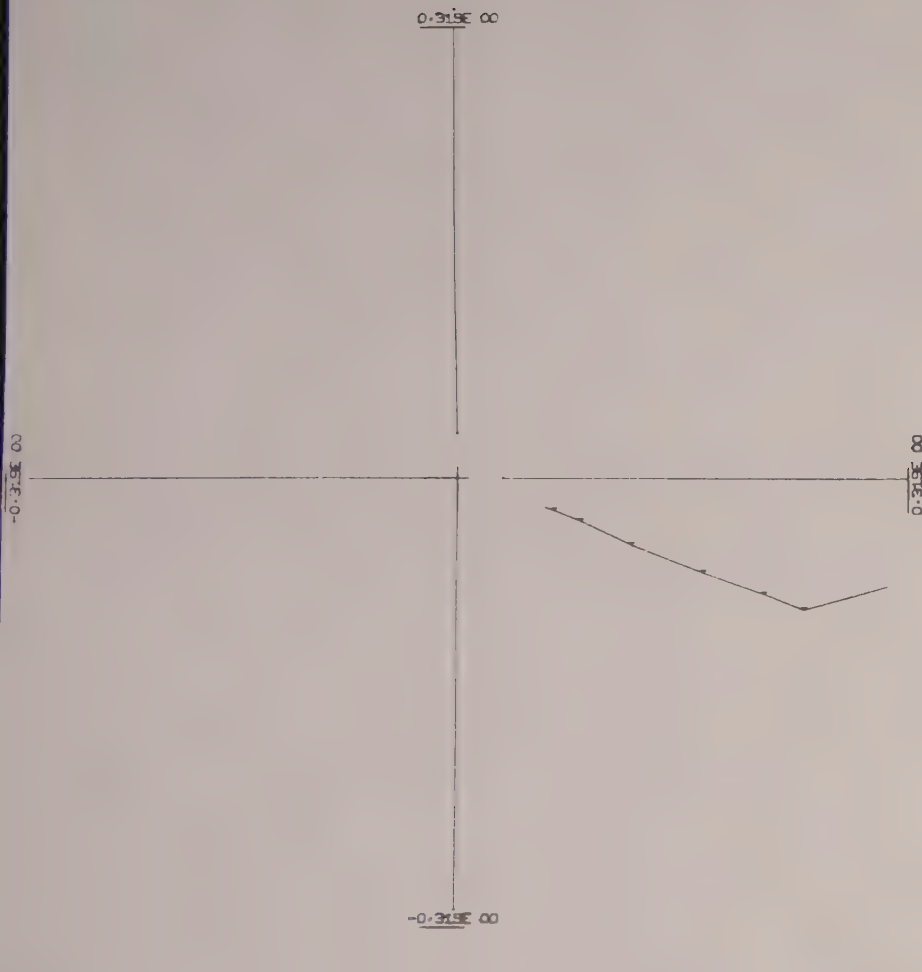
PLAN=F DE Z



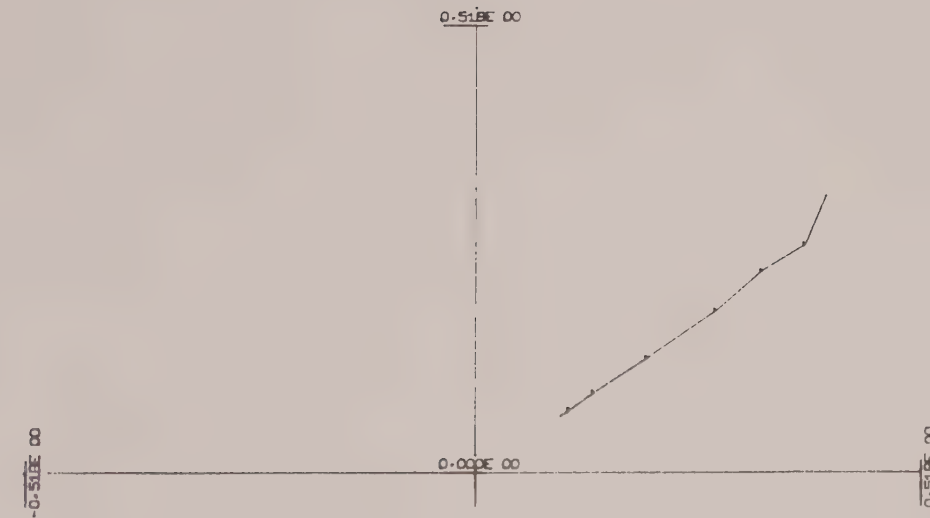
REPAR EN FONCTION DE H

ECHANTILLON NUMERO 6V2027

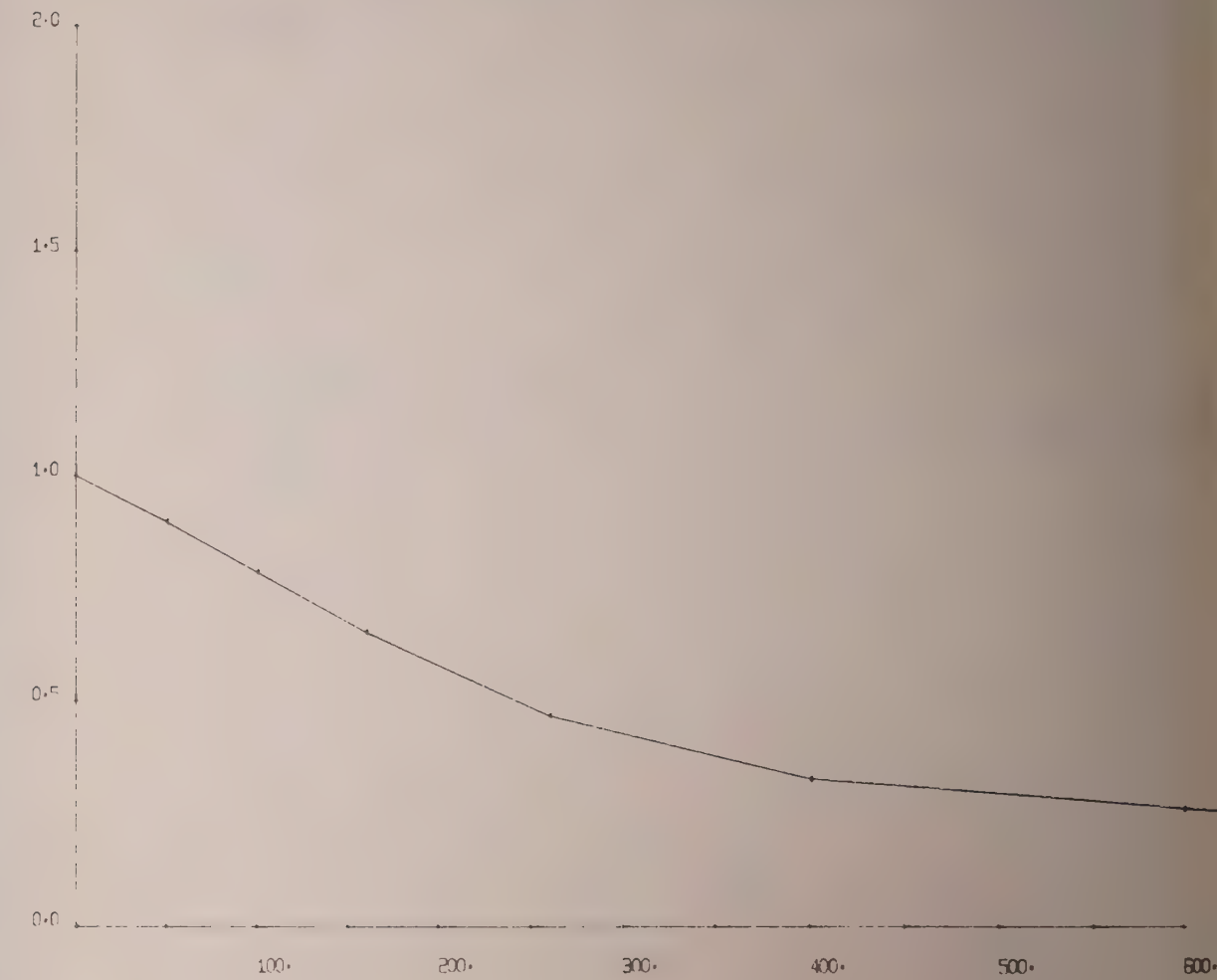
BASALTE _ SITE E2 _ DEVES



Y=F DE X



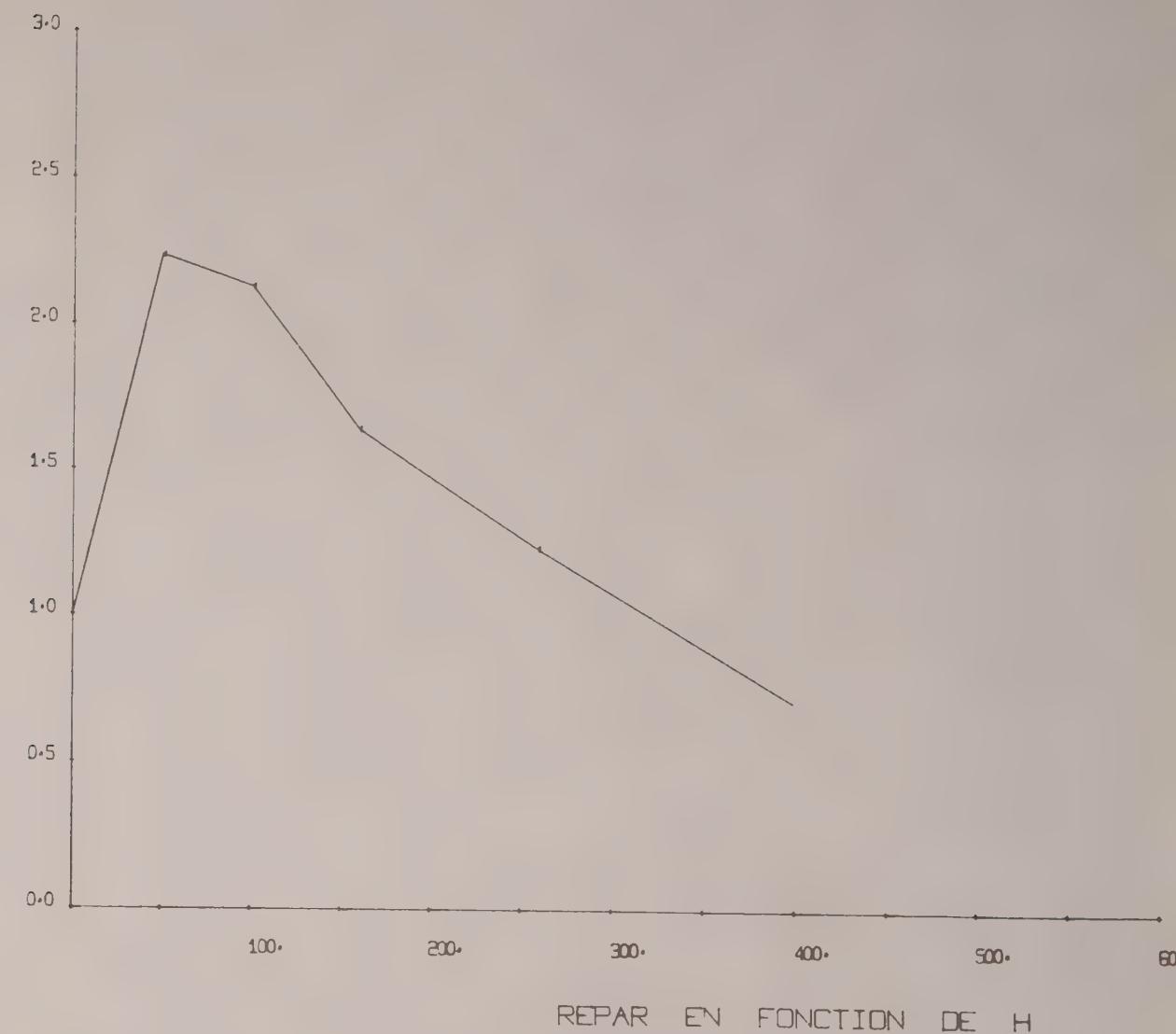
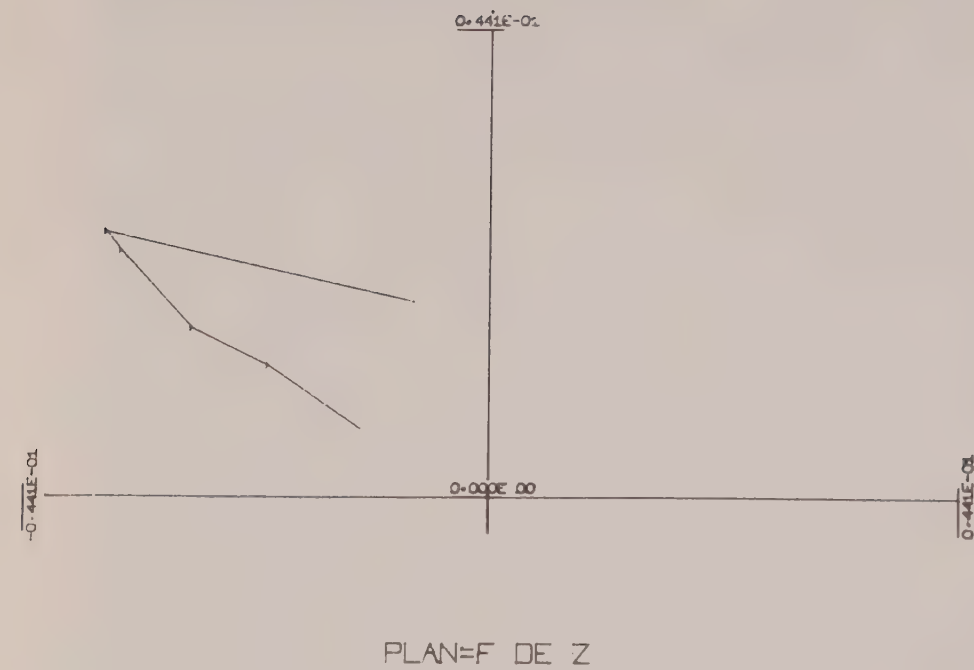
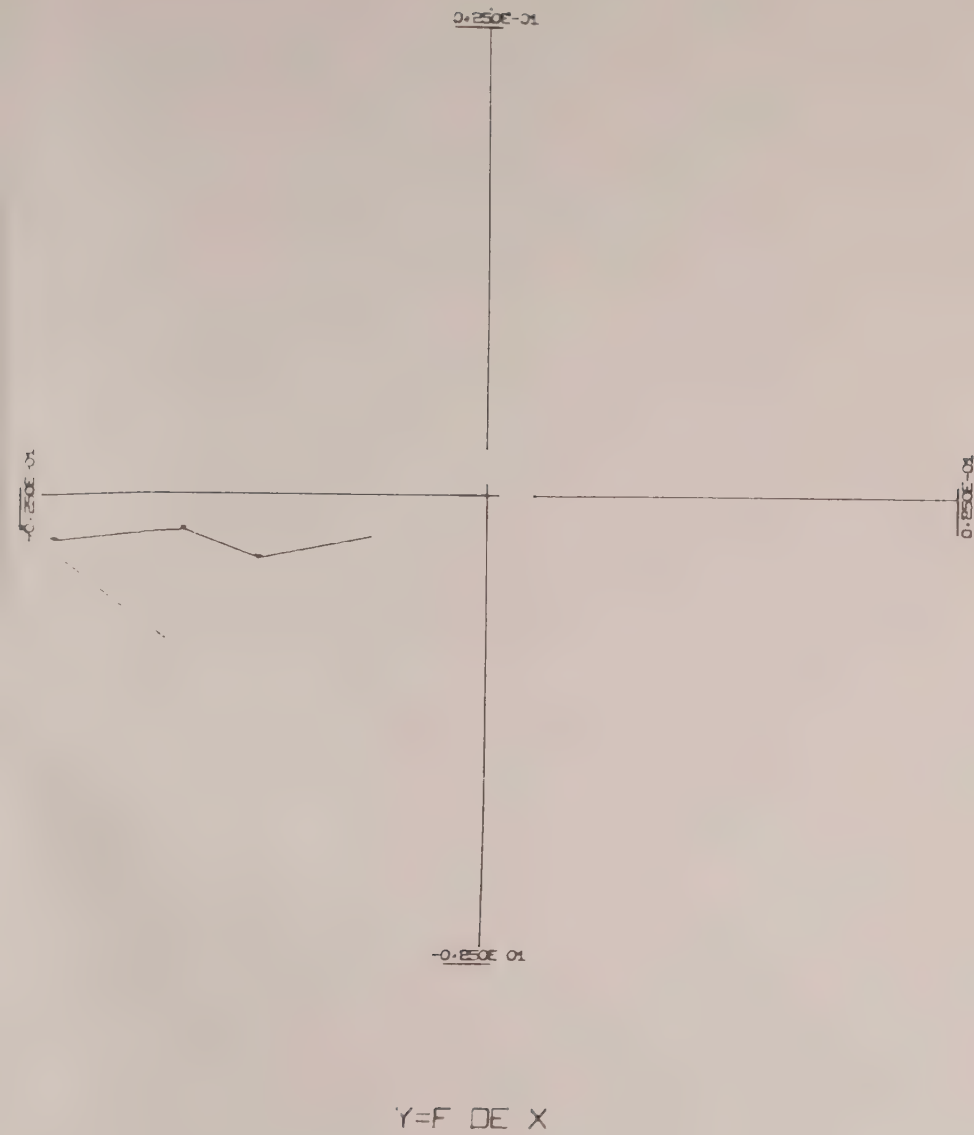
PLAN=F DE Z



REPAR EN FONCTION DE H

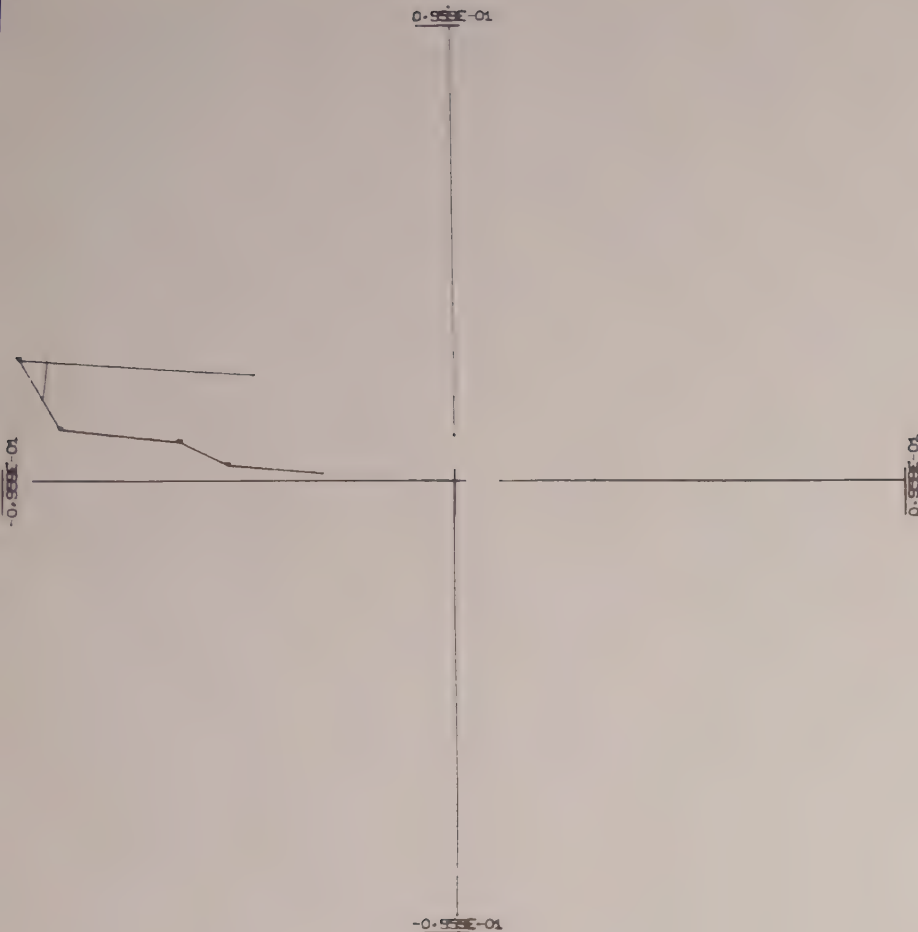
ECHANTILLON NUMERO 6V2022

SITE DE DEVES _ E 1 _

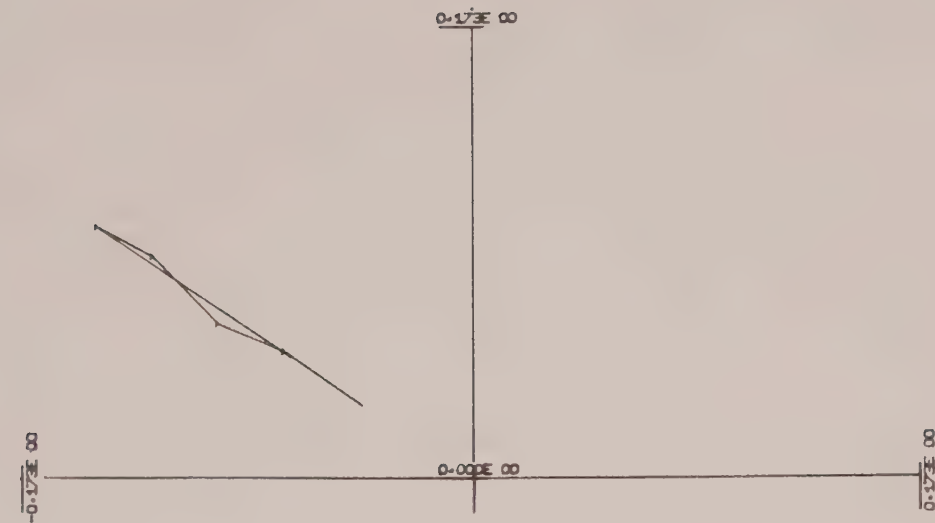


ECHANTILLON NUMERO 6V2024

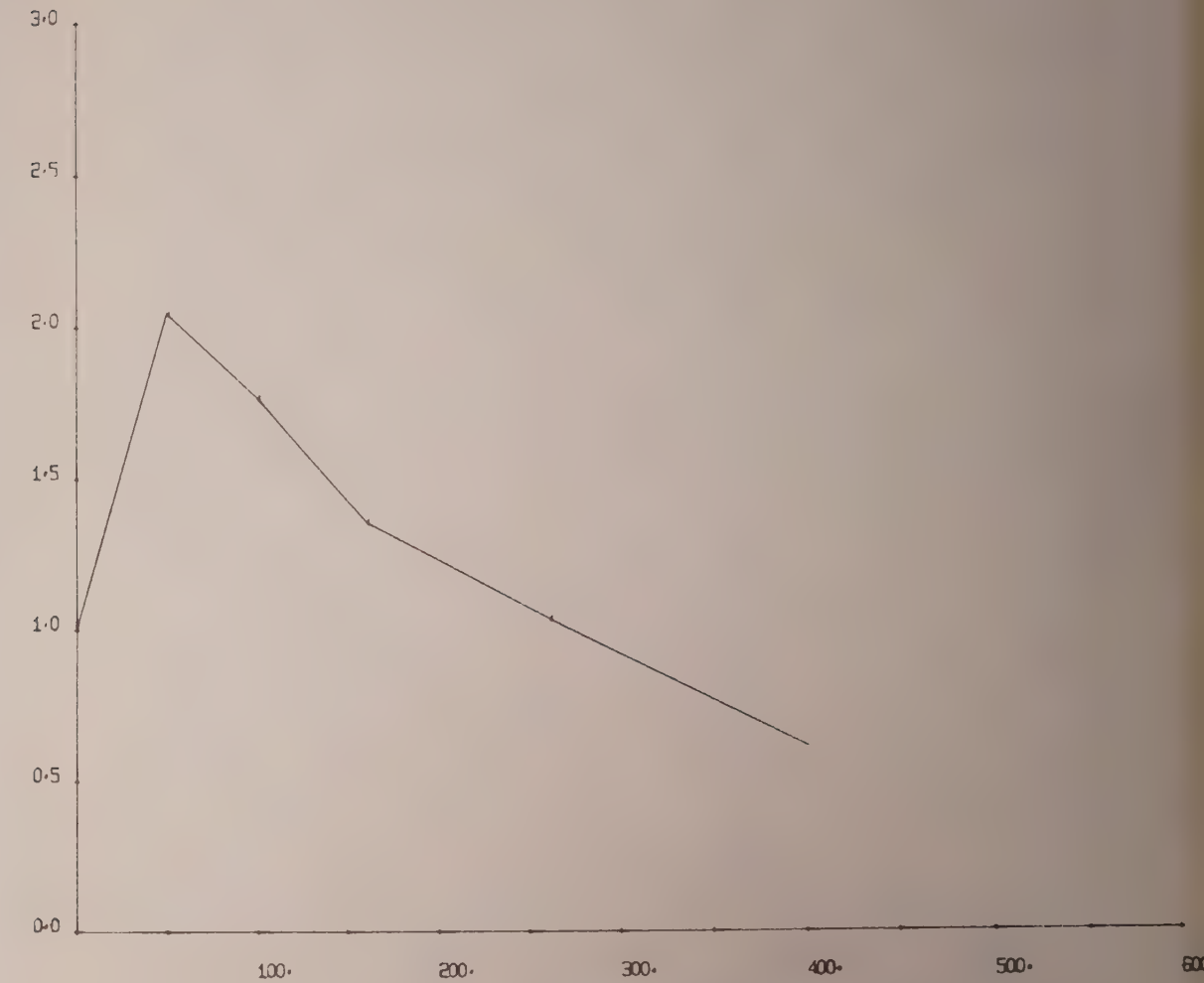
BASALTE SITE E1_DEVES_



Y=F DE X

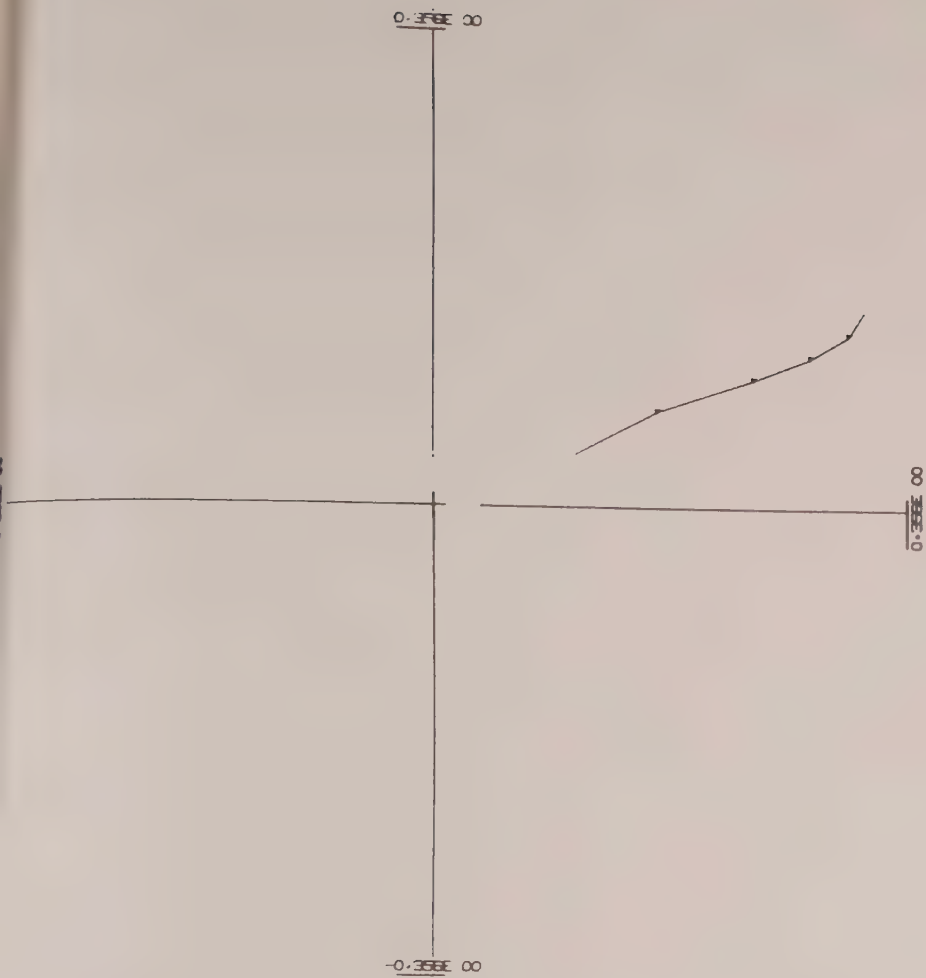


PLAN=F DE Z

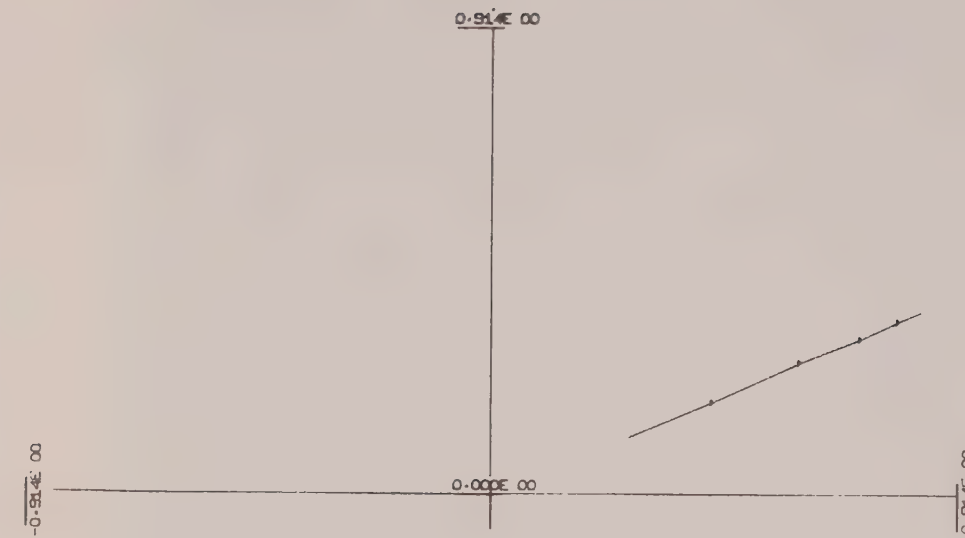


REPAR EN FONCTION DE H

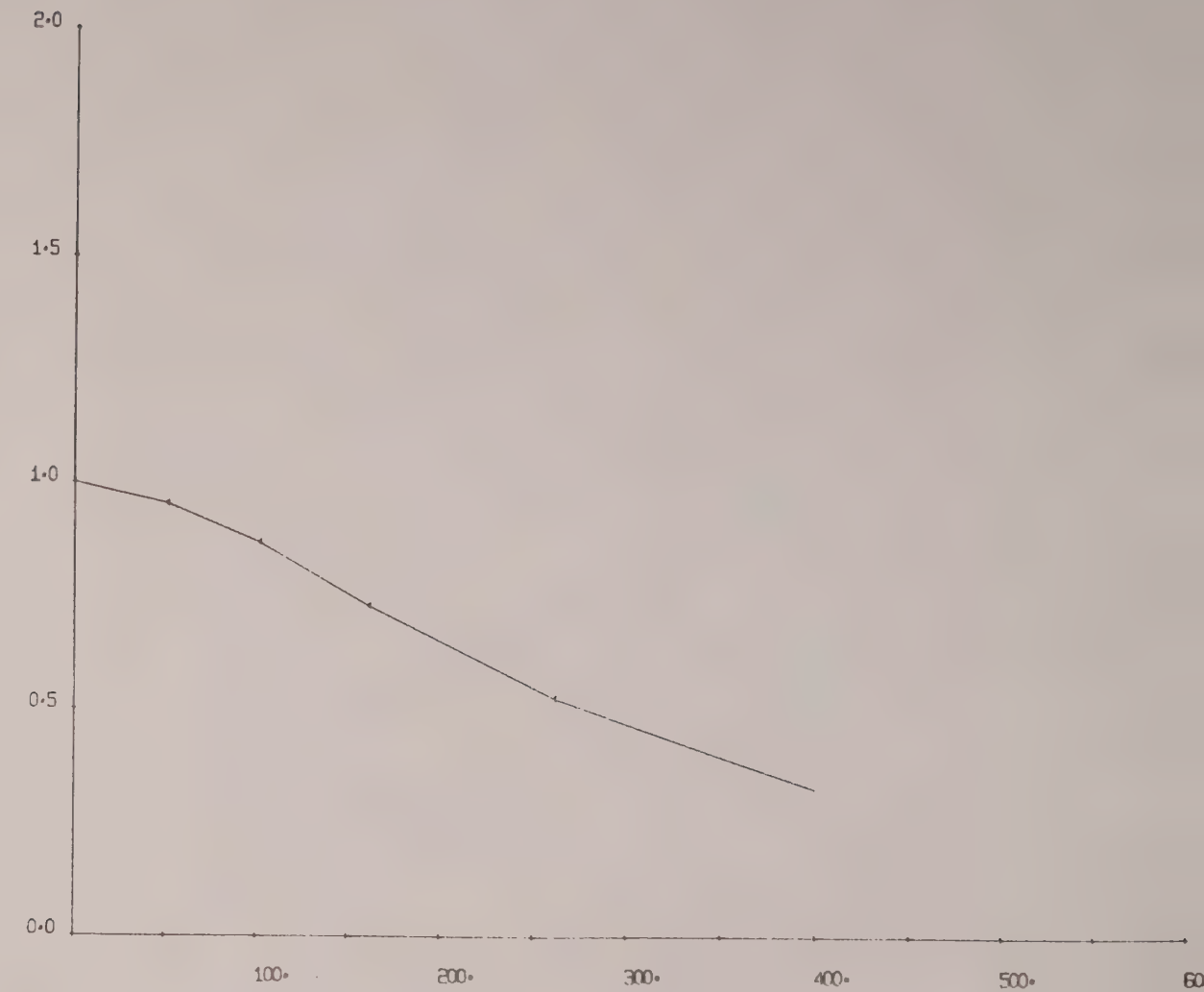
ECHANTILLON NUMERO 6V1829
 BASALTE _ SITE B 4 _ DEVES



Y=F DE X



PLAN=F DE Z

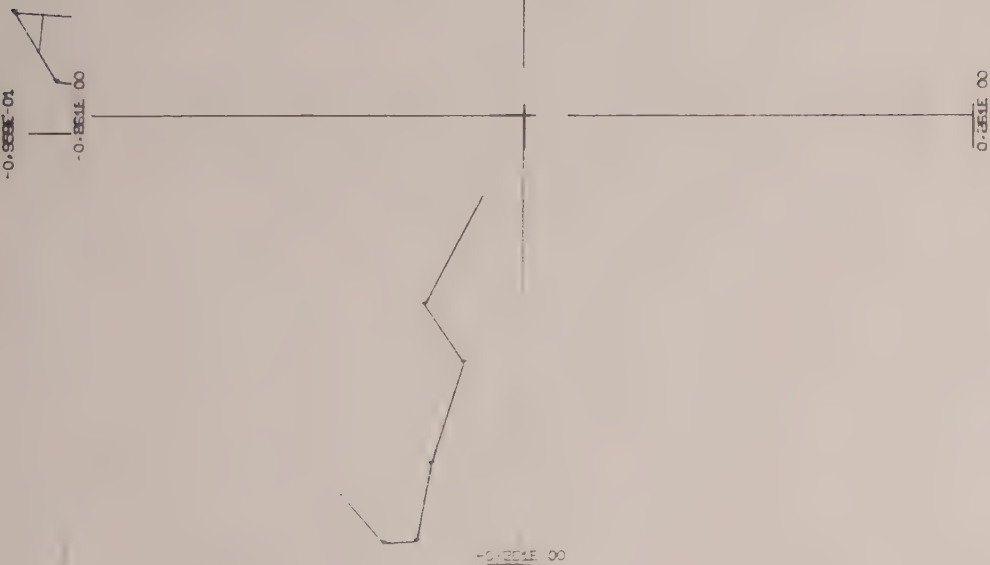


REPAR EN FONCTION DE H

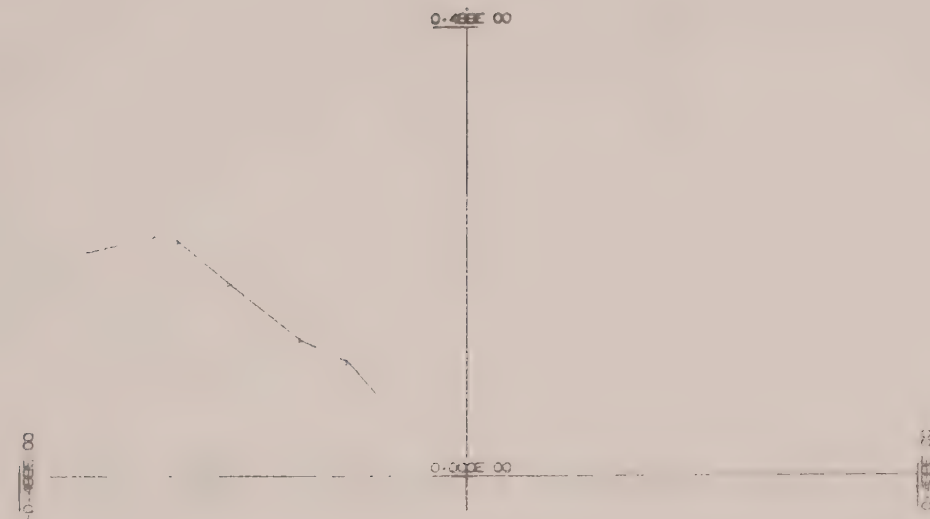
ECHANTILLON NUMERO 65AC09

BASALTE SEMI - PORPHYROÏDE

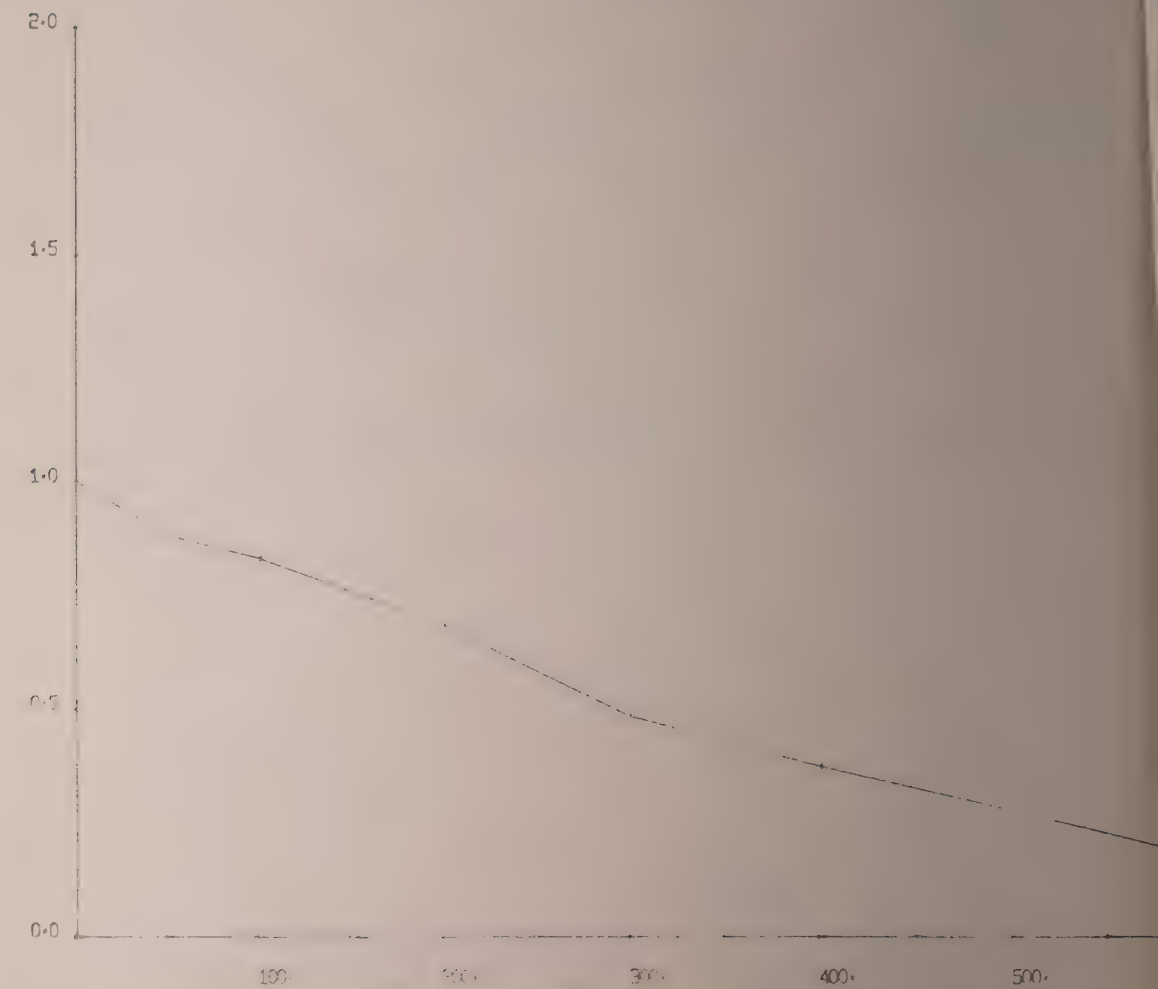
CHATEAU D'EAU DE ST-FRONT



Y-F DE X



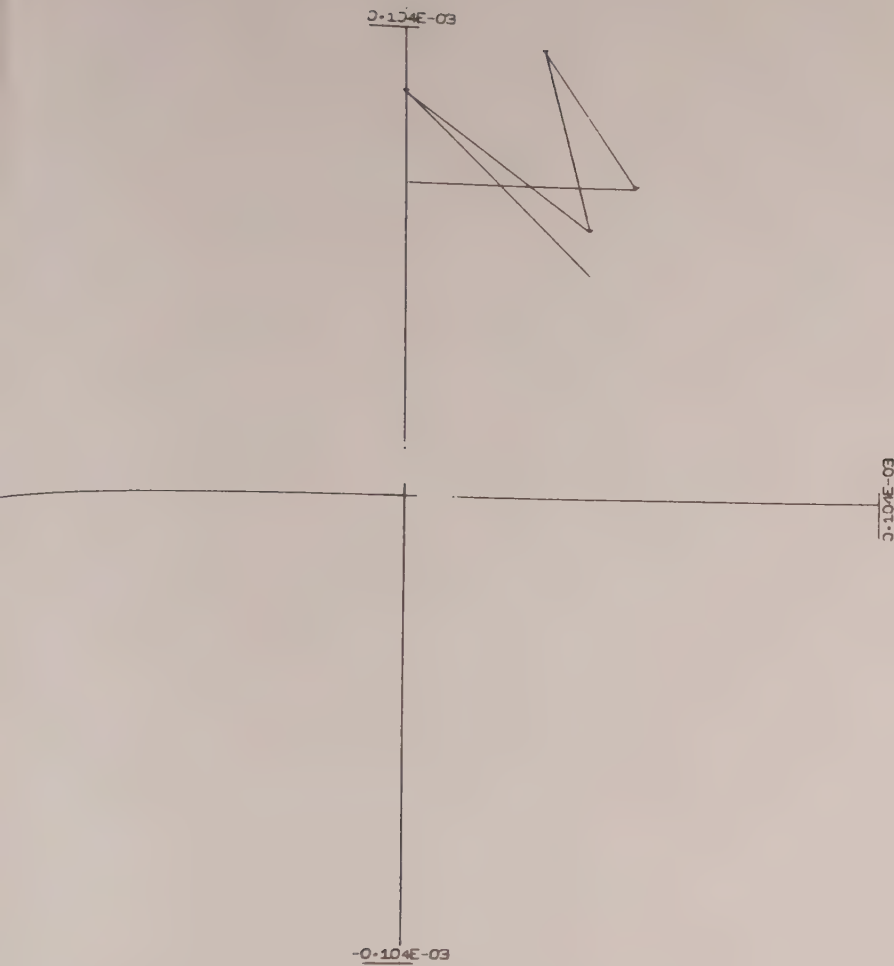
FLAN-F DE Z



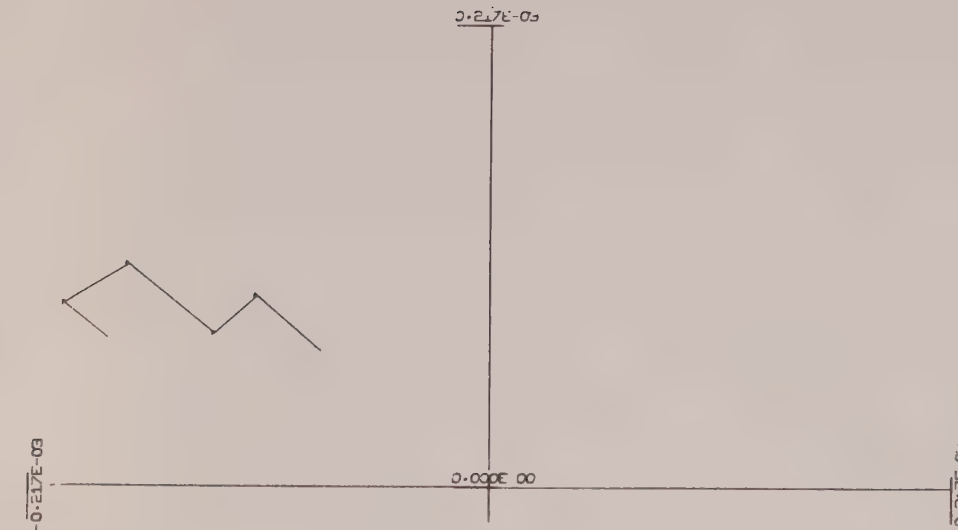
REFAR EN FONCTION DE H

ECHANTILLON NUMERO 10H07

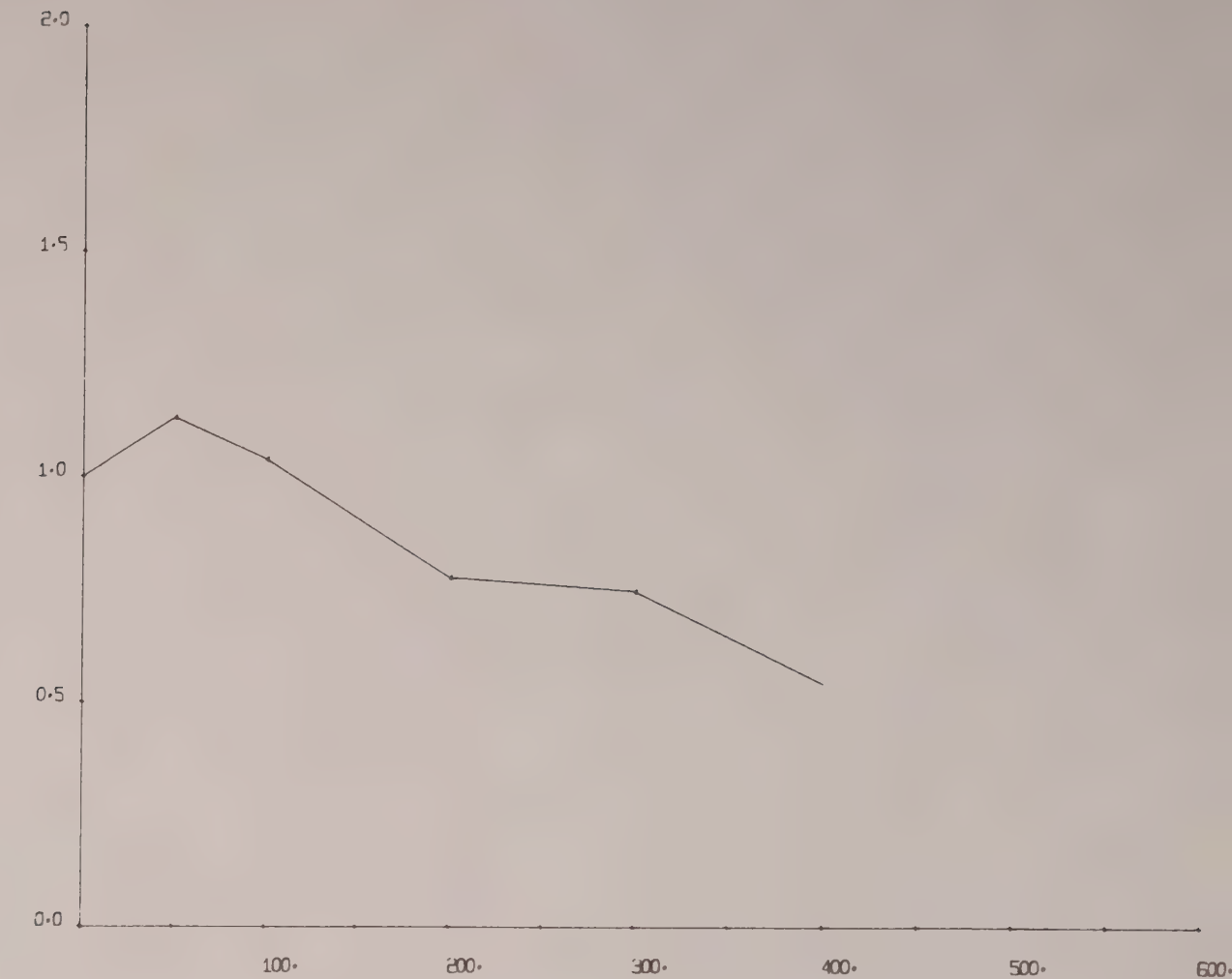
MICRODIORITE _SITE 2_ HERBILLON



Y=F DE X



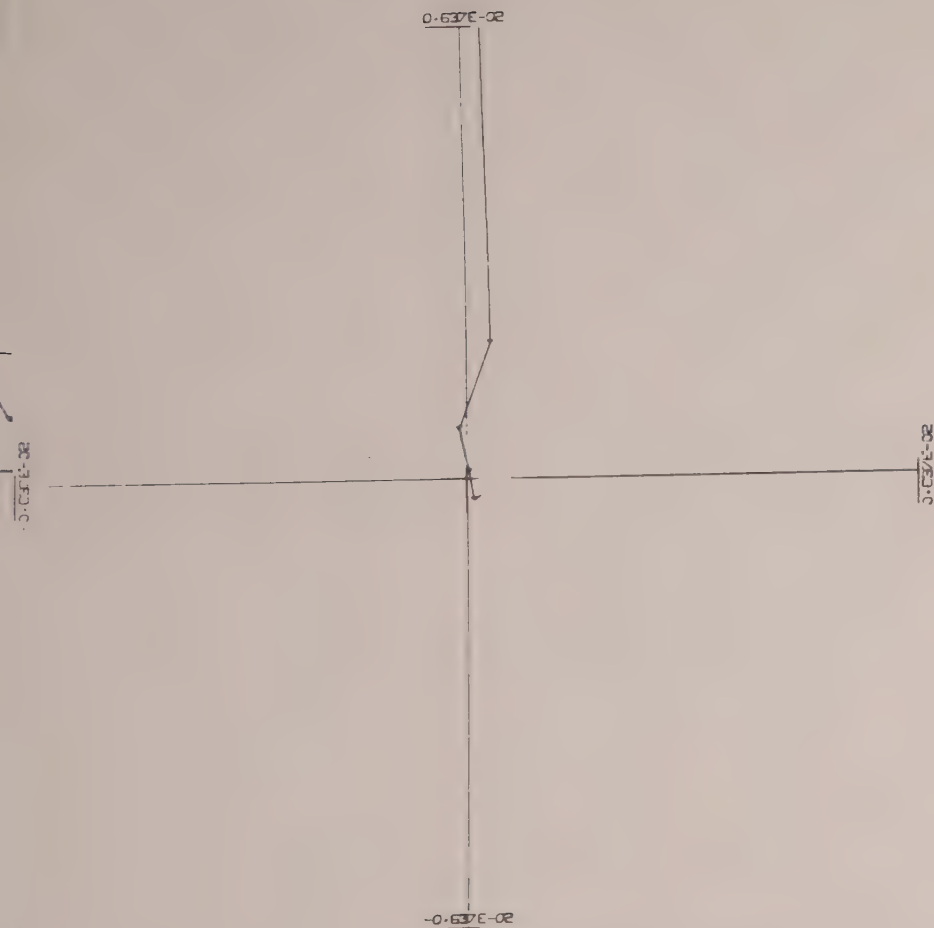
PLAN=F DE Z



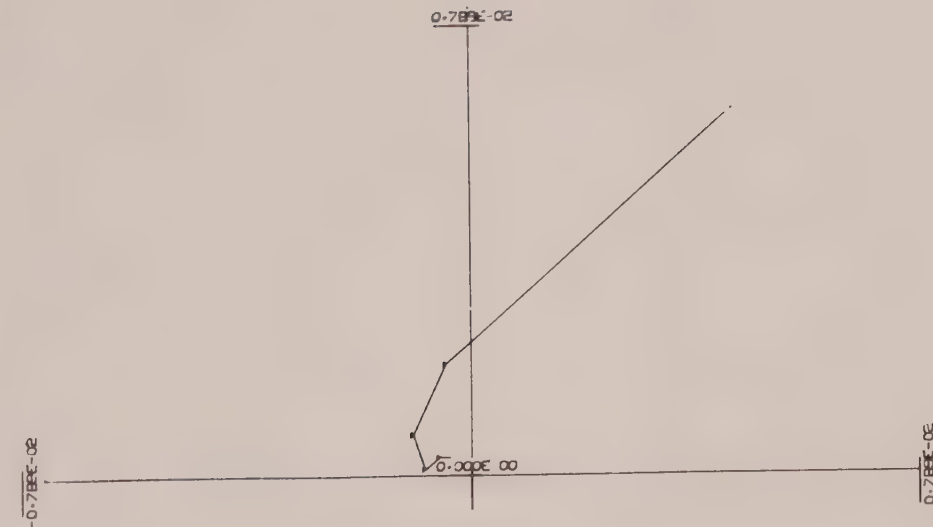
REPAR EN FONCTION DE H

ECHANTILLON NUMERO 05H07

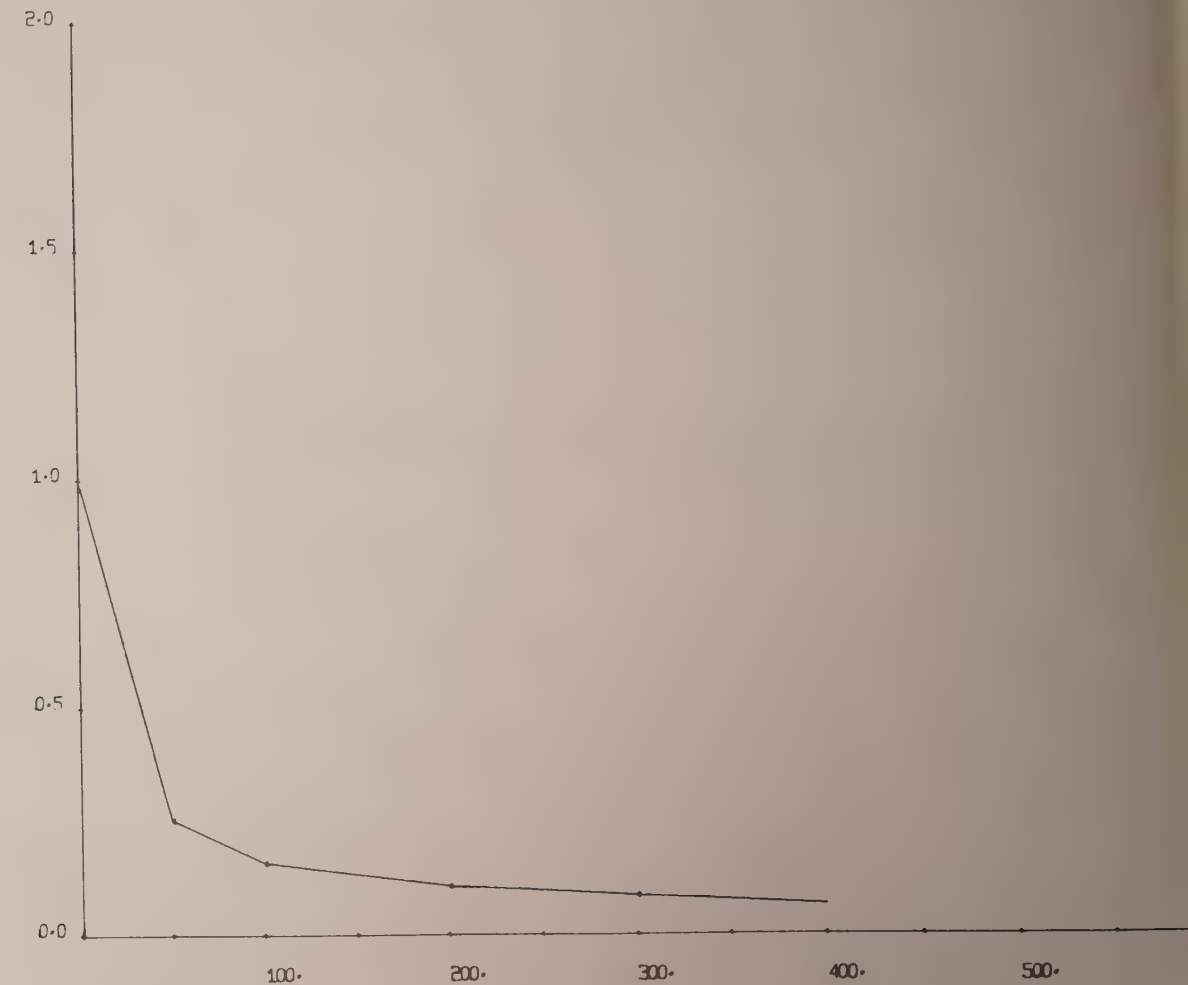
MICRODIORITE _SITE 1_ HERBILLON



Y=F DE X

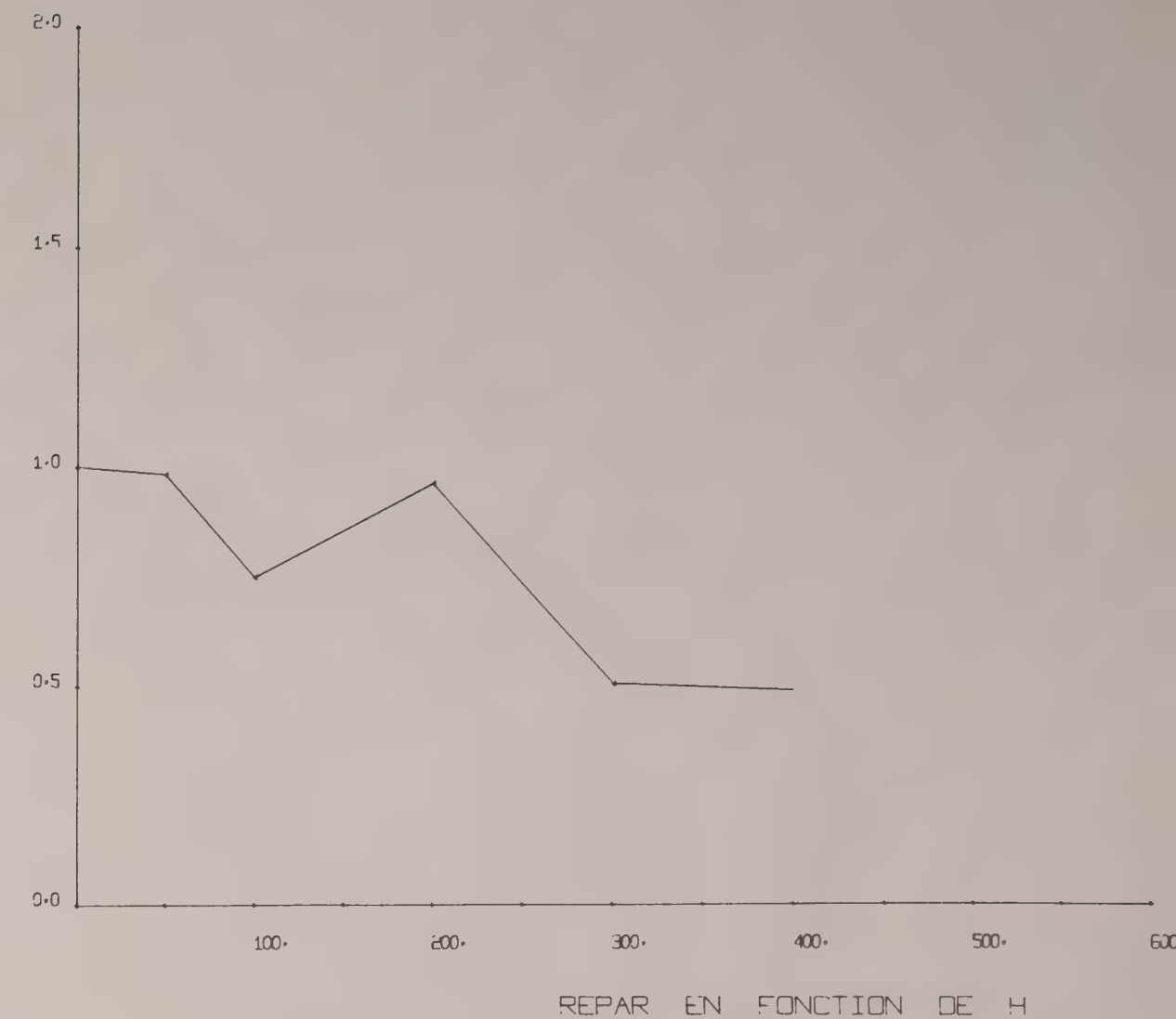
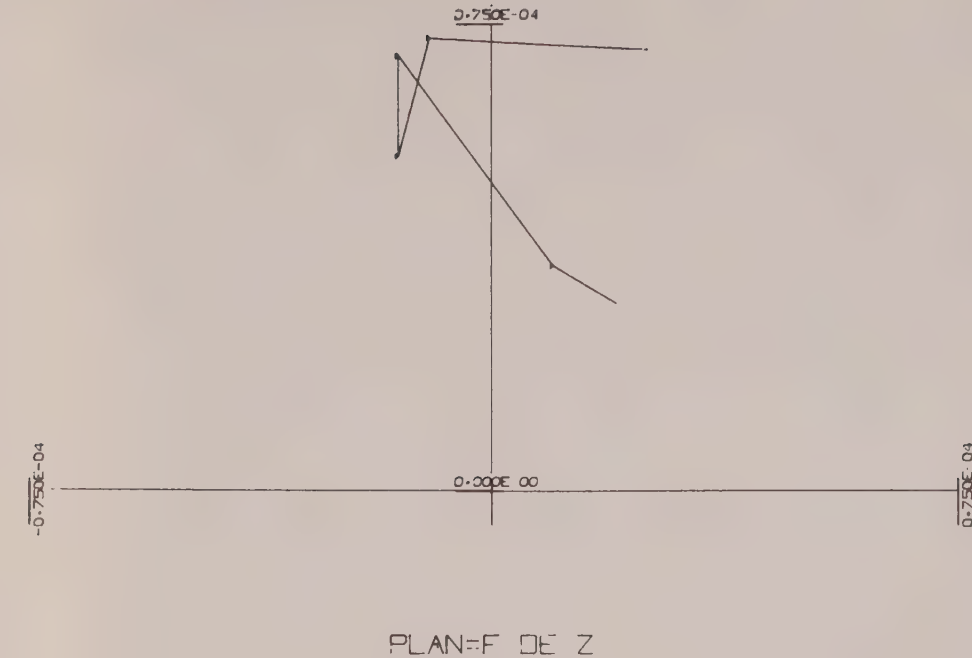
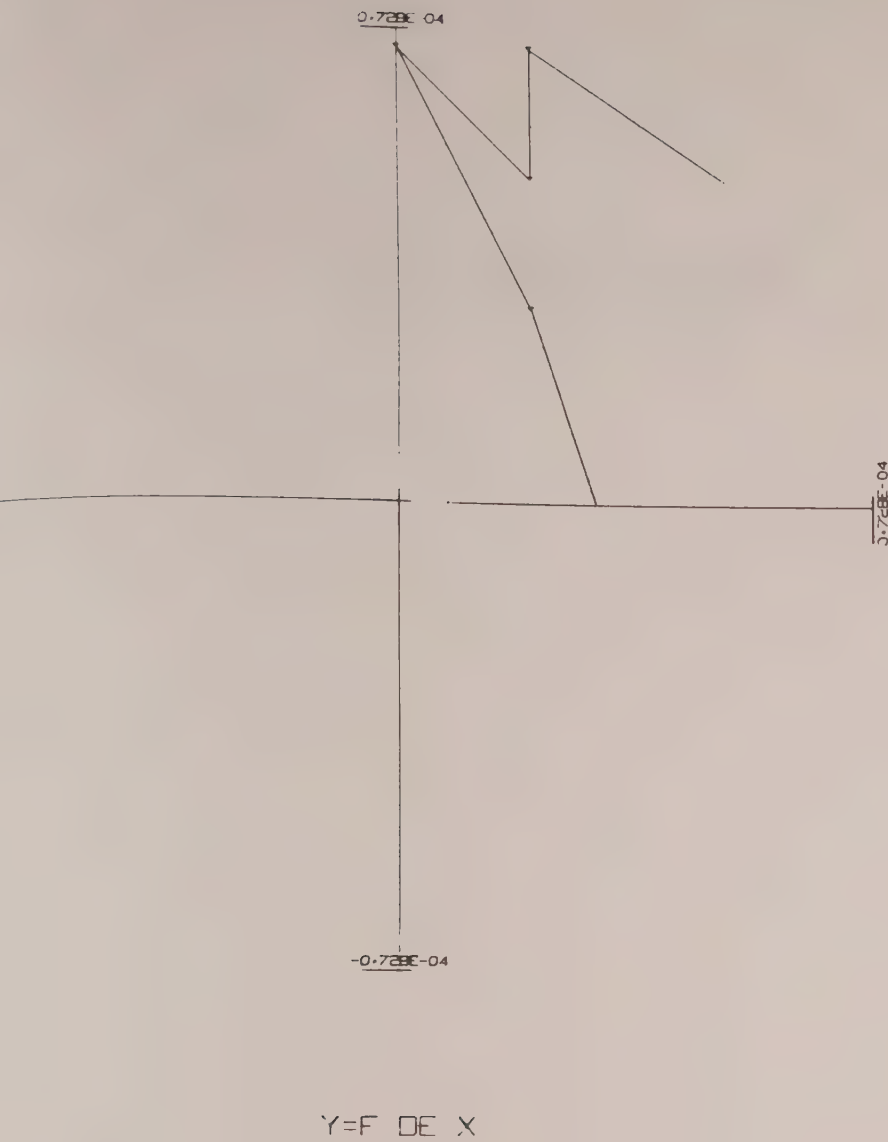


PLAN=F DE Z



REPAR EN FONCTION DE H

ECHANTILLON NUMERO 13407
 MICRODIORITE _SITE 2 _ HERBILLON



- b) Etudes de courbes construites
pour les échantillons d'un site.

Fig. 17 - Site 109 Secteur de Murols - ⁽³⁾ du Vernet Ste-Marguerite.

Exemple de formation homogène avec ATR normale dure
et ARV faible.

Site 109 - Secteur de Murols (67 M 26 - 16 - 17 - 18 - 19)

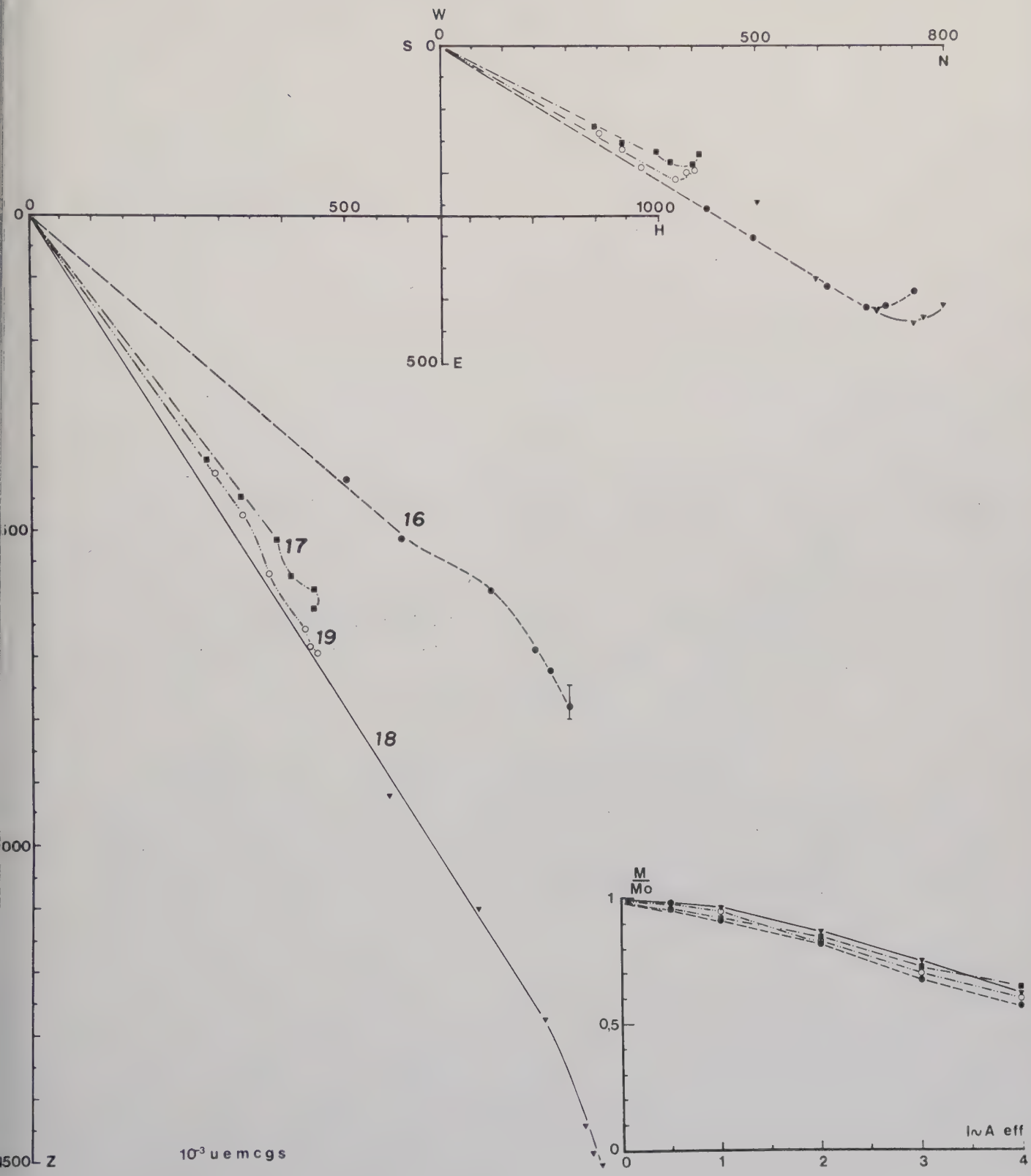


Fig. 17

Fig. 18 - Site 21 b Massif de la Banne d'Ordanche - Basalte
près du village de vacances.

ARV faible sur ATR inverse dure.

Il est parfois délicat de trancher entre une
ARV faible et une ARI douce. Nous avons considéré
qu'il y avait ARV quand :

1° - L'un des tests de viscosité révélait la présence d'ARV.

2° - La direction de l'aimantation qui parasite
l'ATR est proche de celle du champ actuel.

Au contraire, quand le test d'ARV est négatif ou très
faible et que la direction de l'aimantation qui parasite
l'ATR varie largement d'un échantillon à l'autre
et diverge de la direction du champ actuel nous avons
considéré qu'il s'agissait d'ARI.

Site 21 b - Massif de la Banne d'Ordanche (67 B025 - 4 - 5 - 6)

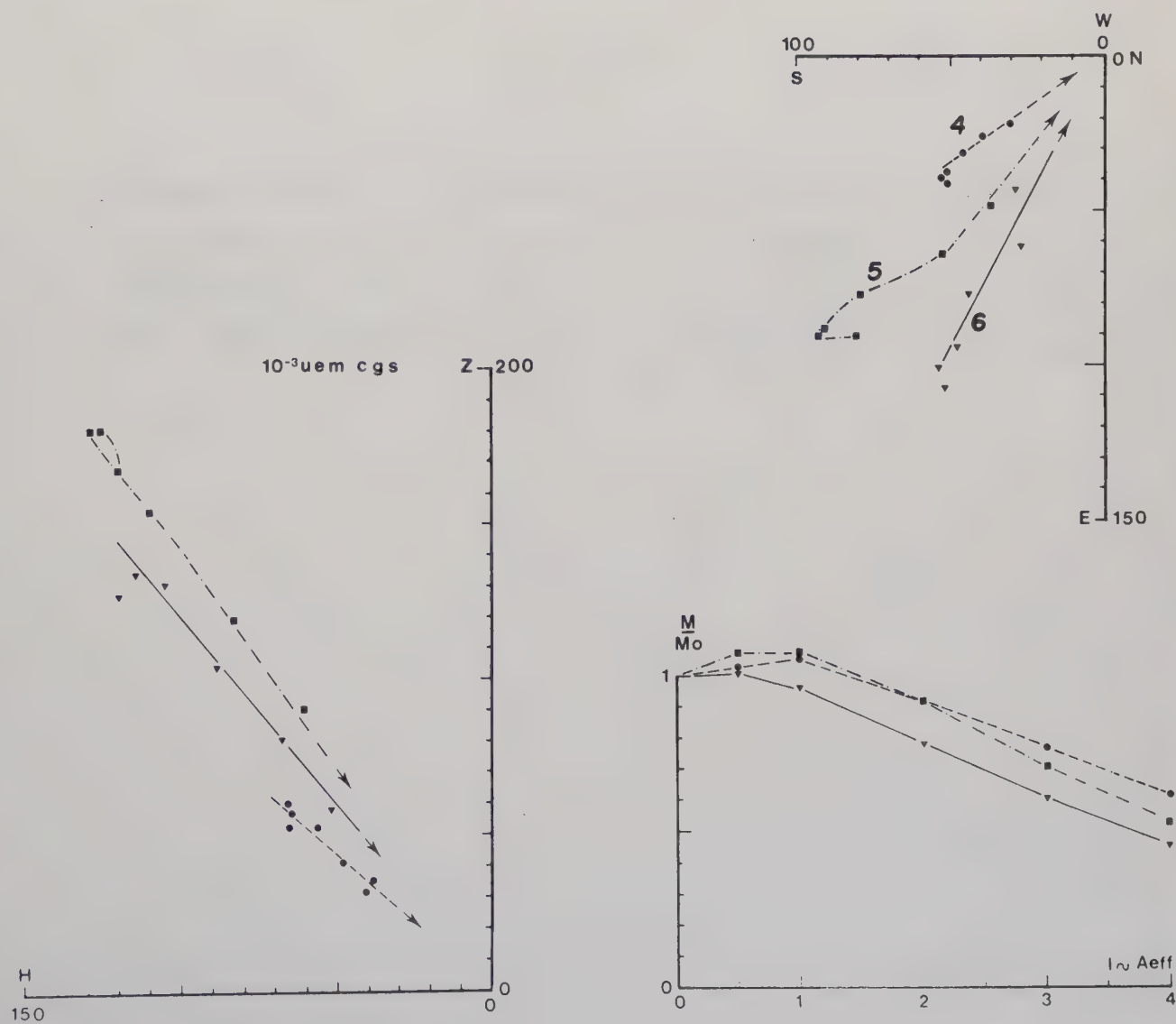


Fig. 18

Fig. 19 - Site 15 b Flanc sud-est de la Banne d'Ordanche.
Exemple d'ARI (forte sur 67 BO 09 et faible sur
67 BO 08) sur ATR inverse. L'ATR, pratiquement
pure sur 67 BO 07, est cependant atteinte dans
les trois cas.

Site 15 b — Massif de la Banne d'Ordanche (67 80_07-08-09)

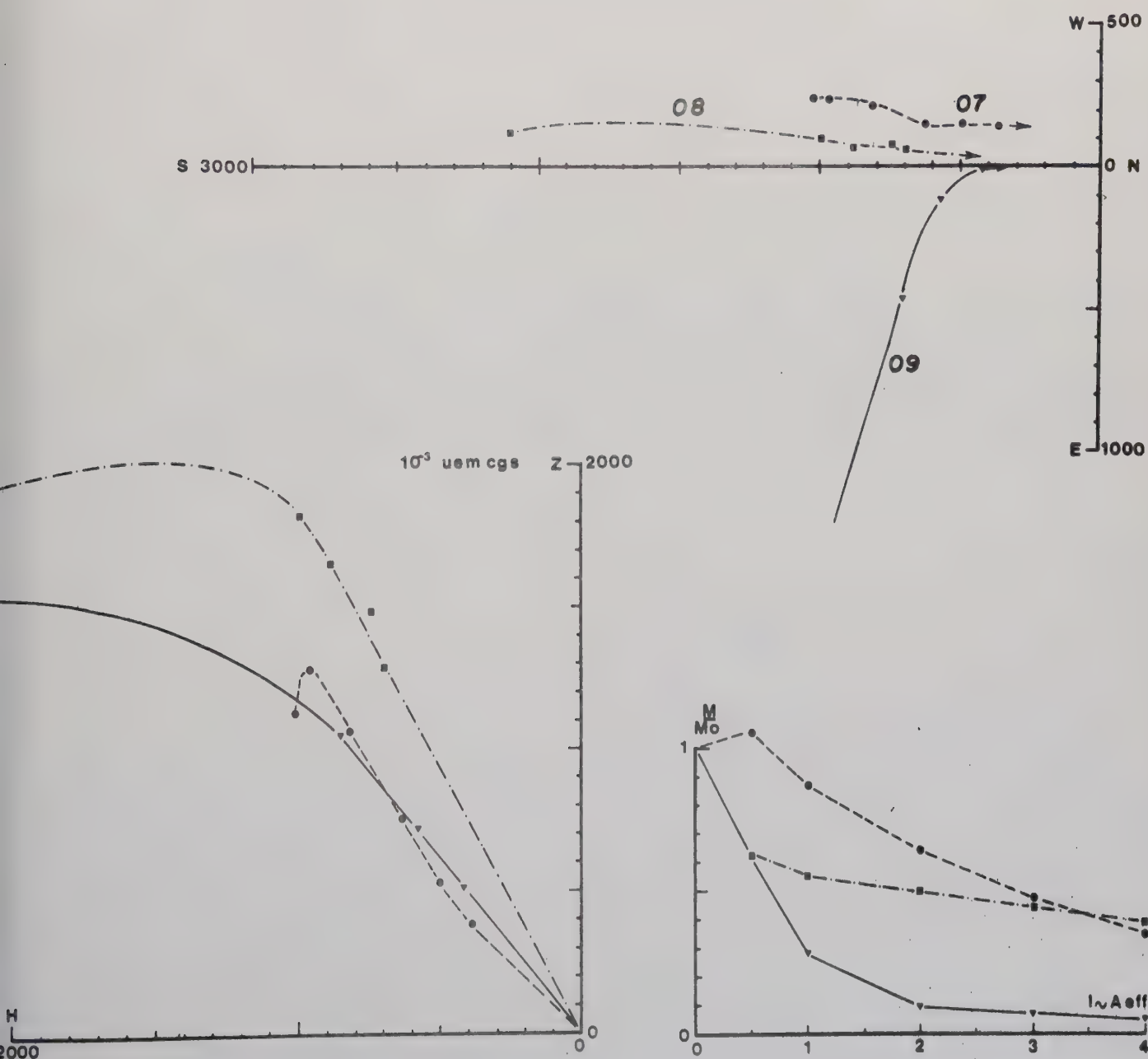


Fig. 19

Fig. 20 - Site 15 a Massif de la Banne d'Ordanche.

L'ATR inverse est nette sur 67 BO 04. Elle est masquée sur 67 BO 06 par une ARI qui disparaît après action d'un champ de 300 Oe.

La direction du moment tend vers la direction de l'ATR pure qui n'est cependant pas atteinte sur 67 BO 05.

Site 15a - Massif de la Banne d'Ordanche (67 BO _04_05_06)

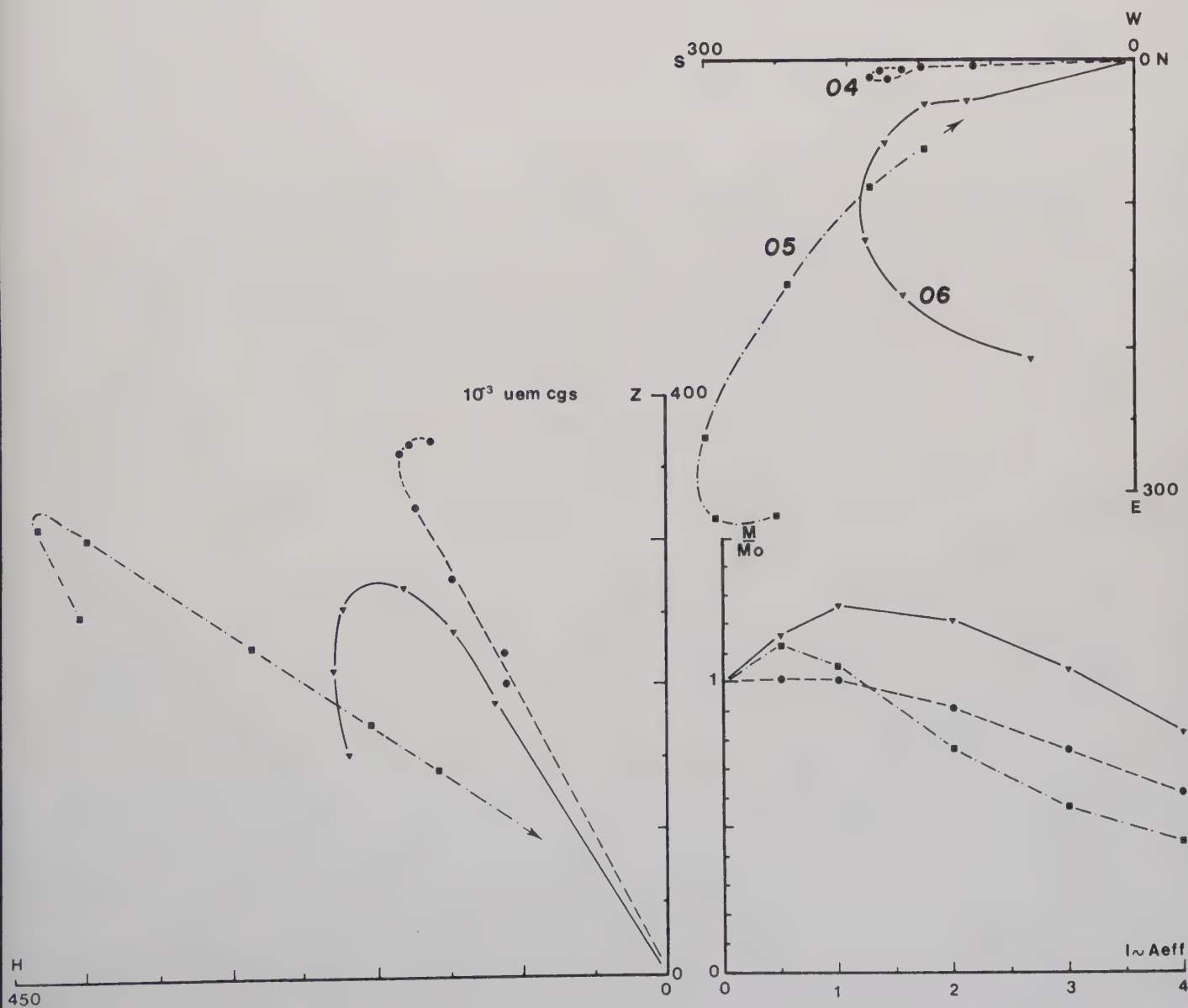


Fig. 20

Fig. 21 - Site 48 Massif du Sancy. Doreites du sommet des Egravats.
Les trois échantillons sont porteurs d'ARI mais l'ATR est atteinte en fin de désaimantation.

Site 48 - Massif du Sancy (67 Eg 24 - 08 - 09 - 10)

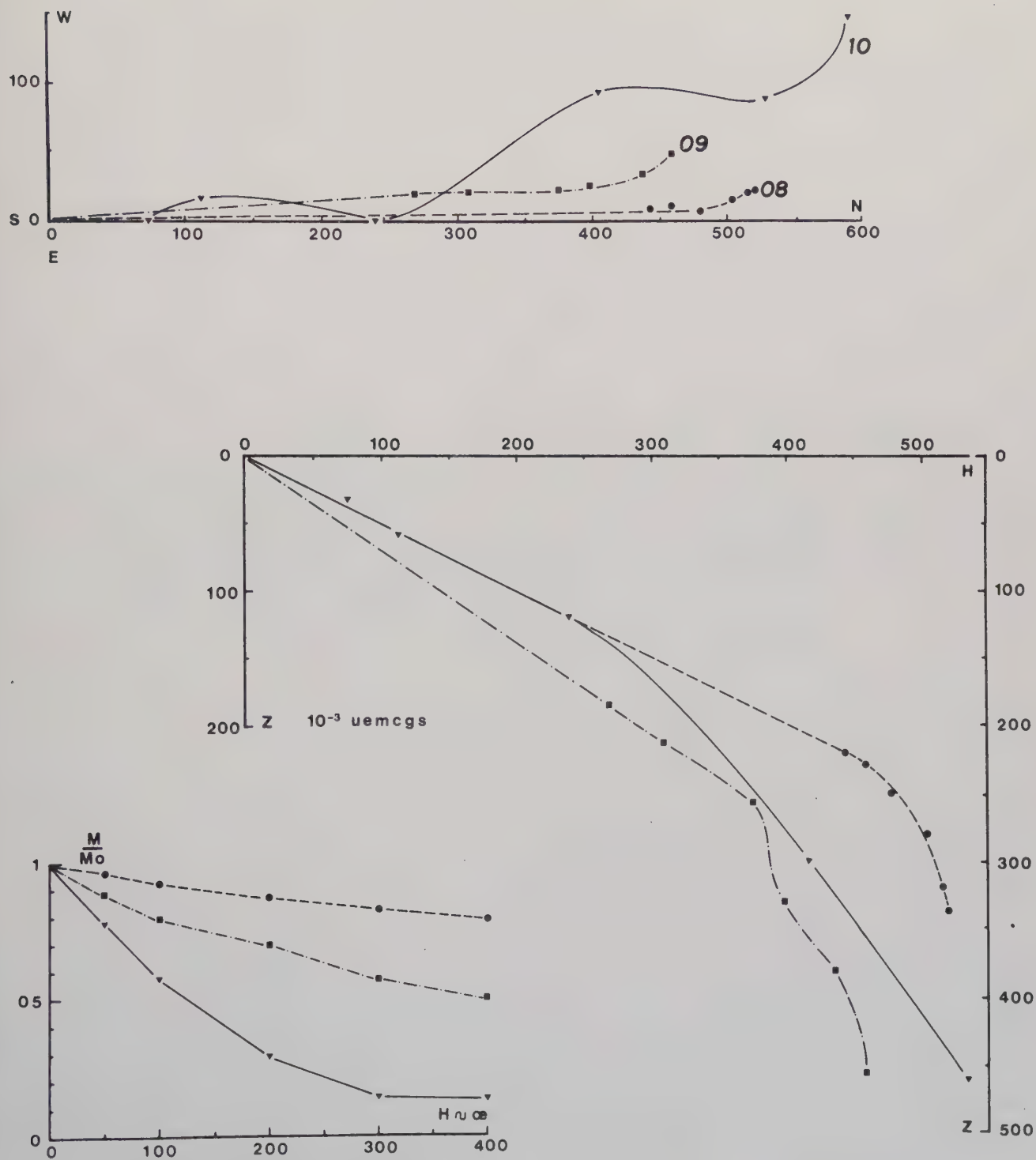


Fig. 21

Fig. 22 - Site 11 Massif de la Banne d'Ordanches.

La plupart des échantillons sont marqués par des ARI. Celle-ci très intense sur 67 BO 23 04 atteint presque la saturation montrant que les courbes de 67 BO 23 05 et 23 06 sont proches de celle d'une ATR. (unité 10^{-3} uemcas)

Site 11 _ Massif de la Banne d'Ordanche (67_B023_04.05.06.07)

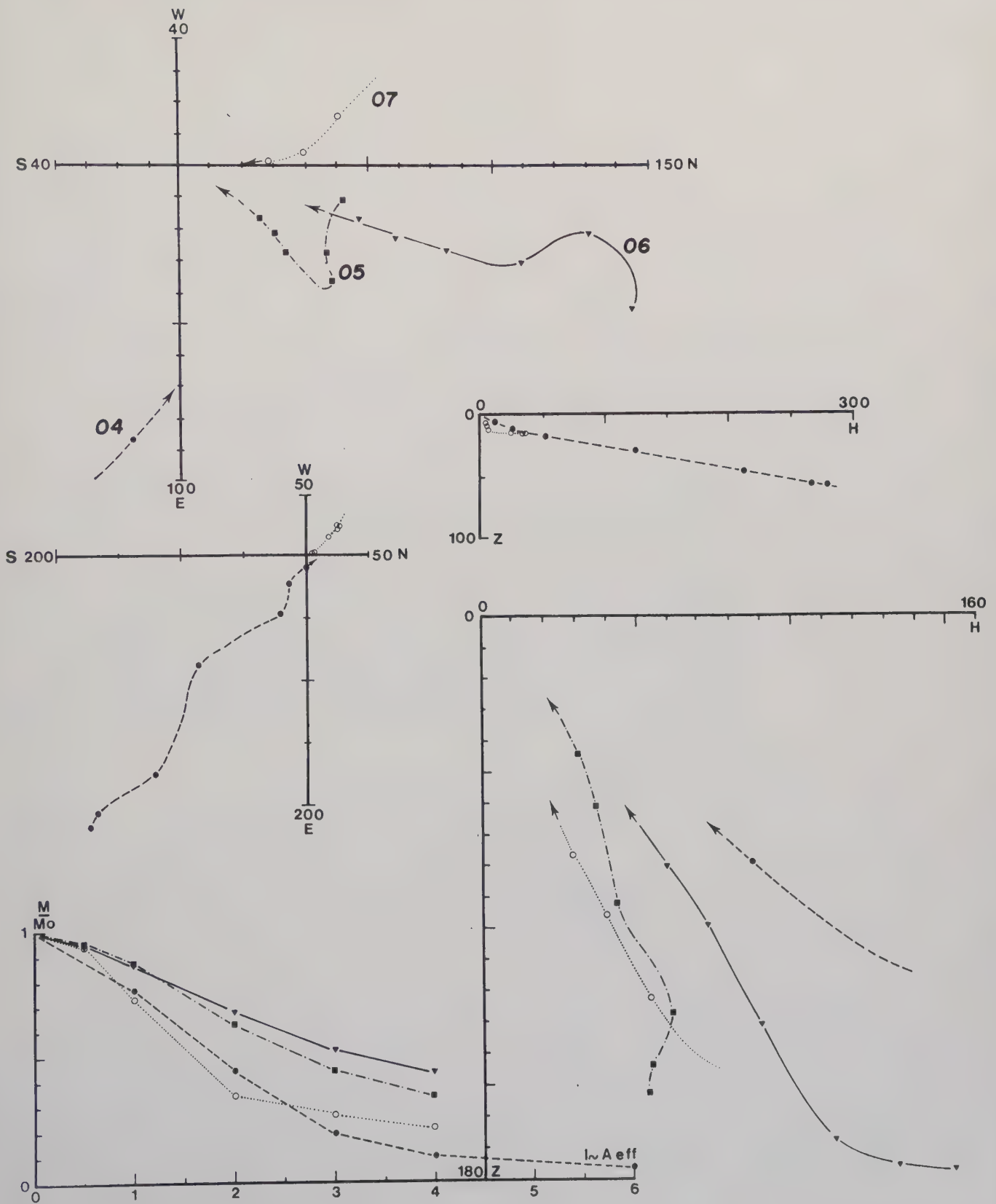


Fig. 22

Fig. 23 - Site 50 du Massif du Sancy - Doreites du sommet des Egravats.

L'échantillon 67 Eg 24 12 est marqué par une légère ARI mais l'ATR est vite atteinte.

Sur les échantillons 67 Eg 24 11 et 13, les ARI sont plus fortes. A 400 Oe si la composante verticale semble essentiellement due à l'ATR, la composante horizontale est encore masquée par une ARI. L'Echantillon 67 Eg 24 12 semble bien donner l'ATR de la coulée.

Les ARI fortes sont caractérisées par

- 1° - Intensité d'aimantation forte.
- 2° - Direction variable entre les échantillons.
- 3° - Forme des courbes de désaimantation.

Site 50 - Massif du Sancy (67 Eg 24-11-12-13)

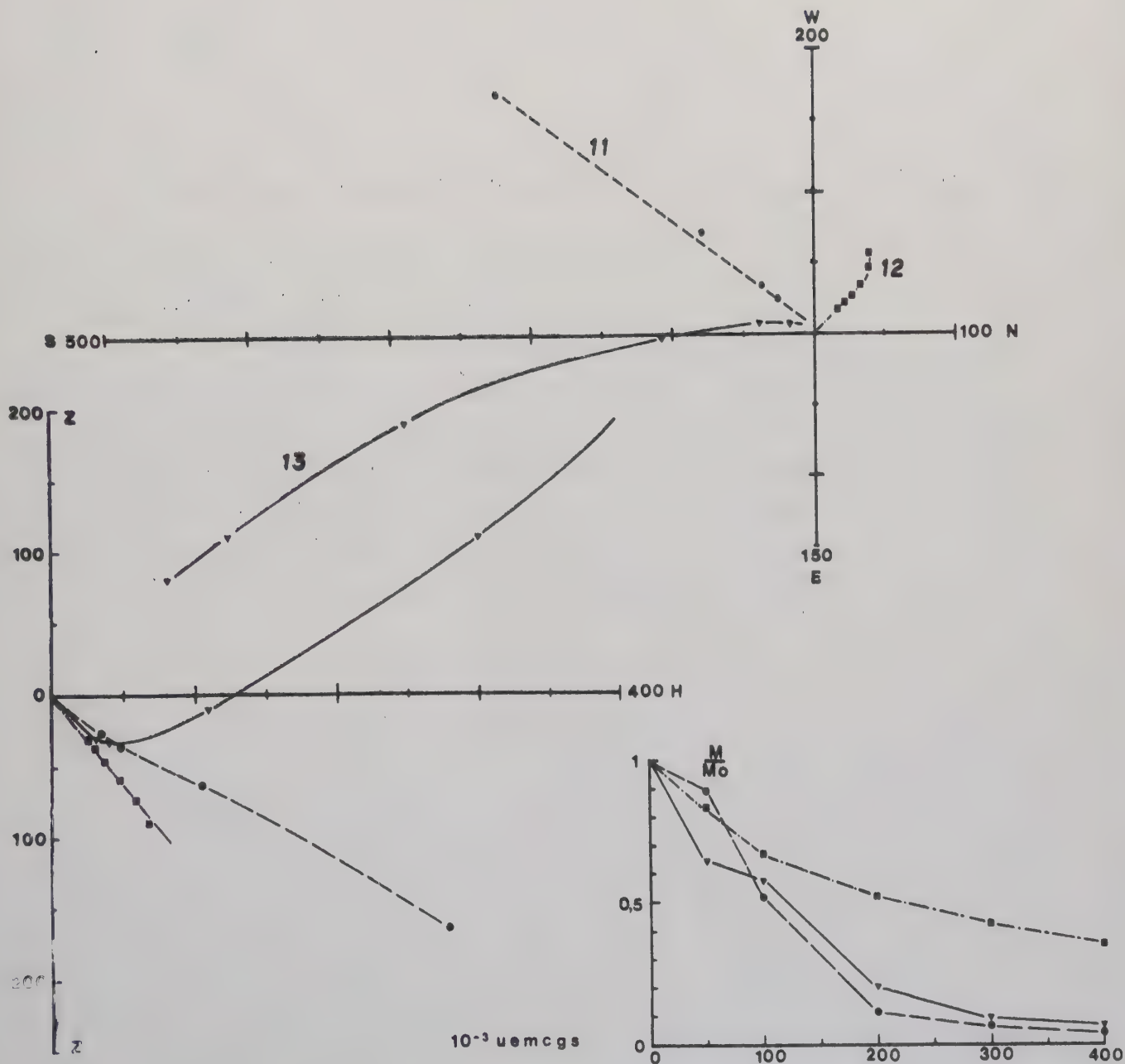


Fig. 23

Fig. 24 - Site 74 Massif du Sancy. Doreites supérieures du Val de Courre.

Les échantillons 67 VC 21 08 09 sont porteurs d'une ARV ou d'une ARI faible, détruite à 100 Oe, et d'une ATR douce.

Sur 67 VC 21 07 l'ARI est très forte. La position de la courbe de désaimantation correspondante montre que celles des échantillons 08 et 09 correspondent à peu près sûrement à des ATR. L'ATR de la coulée est atteinte pour les trois blocs. Elle est caractérisée par une inclinaison faible.

Site 74 - Massif du Sancy (67 VC 21_ 07_ 08_ 09)

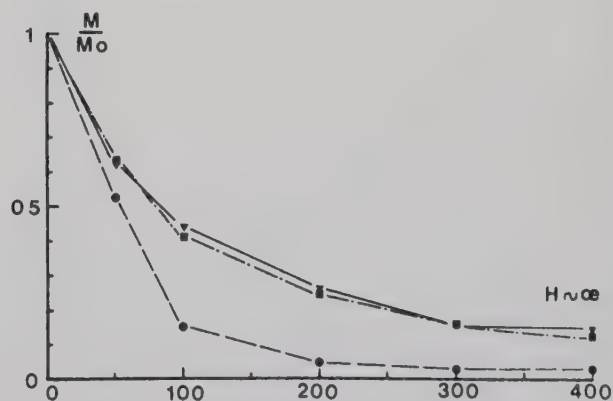
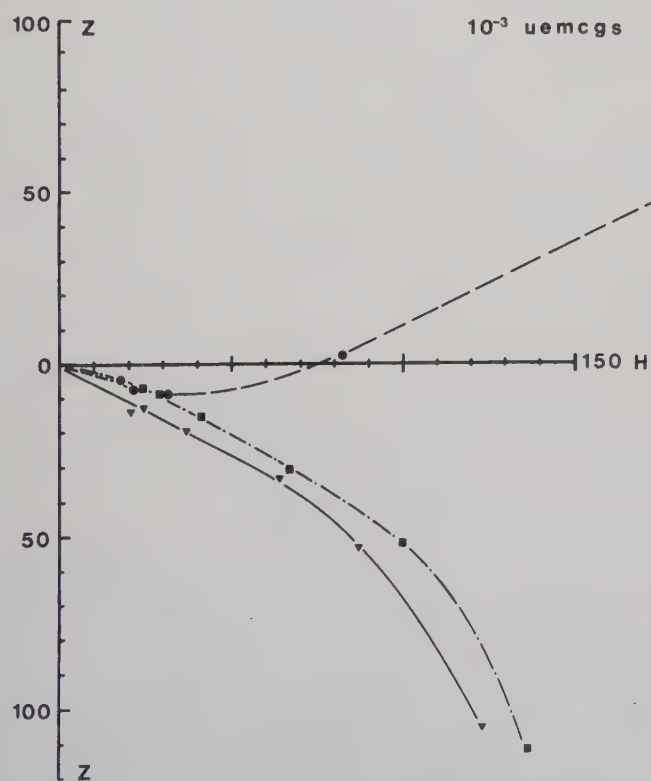
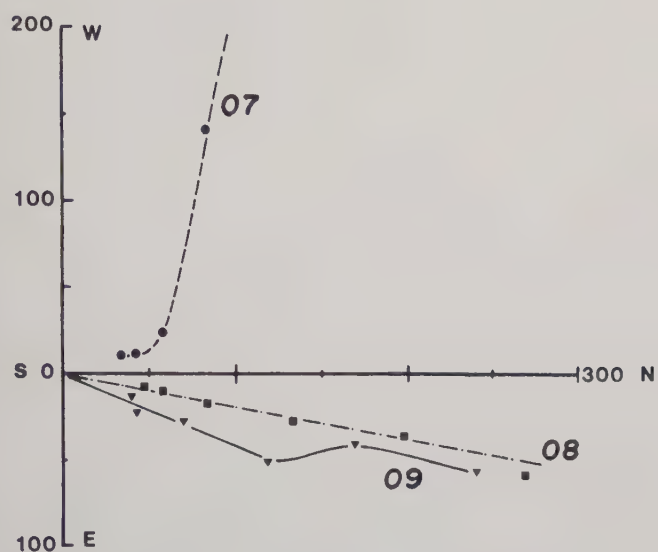


Fig. 24

Fig. 25 - Site 114 Secteur de Murols. Basalte de Roussat.
Les échantillons 67 M 27 04 et 06 sont marqués par la présence d'une ARV opposée au moment dû à l'ATR inverse douce. Bel exemple de convergence vers une même limite.

Nous avons conclu ARV bien que son intensité soit forte car :

- 1° - Les tests de viscosité traduisent la présence d'ARV importante.
- 2° - Les échantillons espacés de plus de 20 m les uns des autres peuvent difficilement être porteurs d'ARI de direction unique.

Site 114 - Secteur de Murols (67 M27 - 04 - 05 - 06)

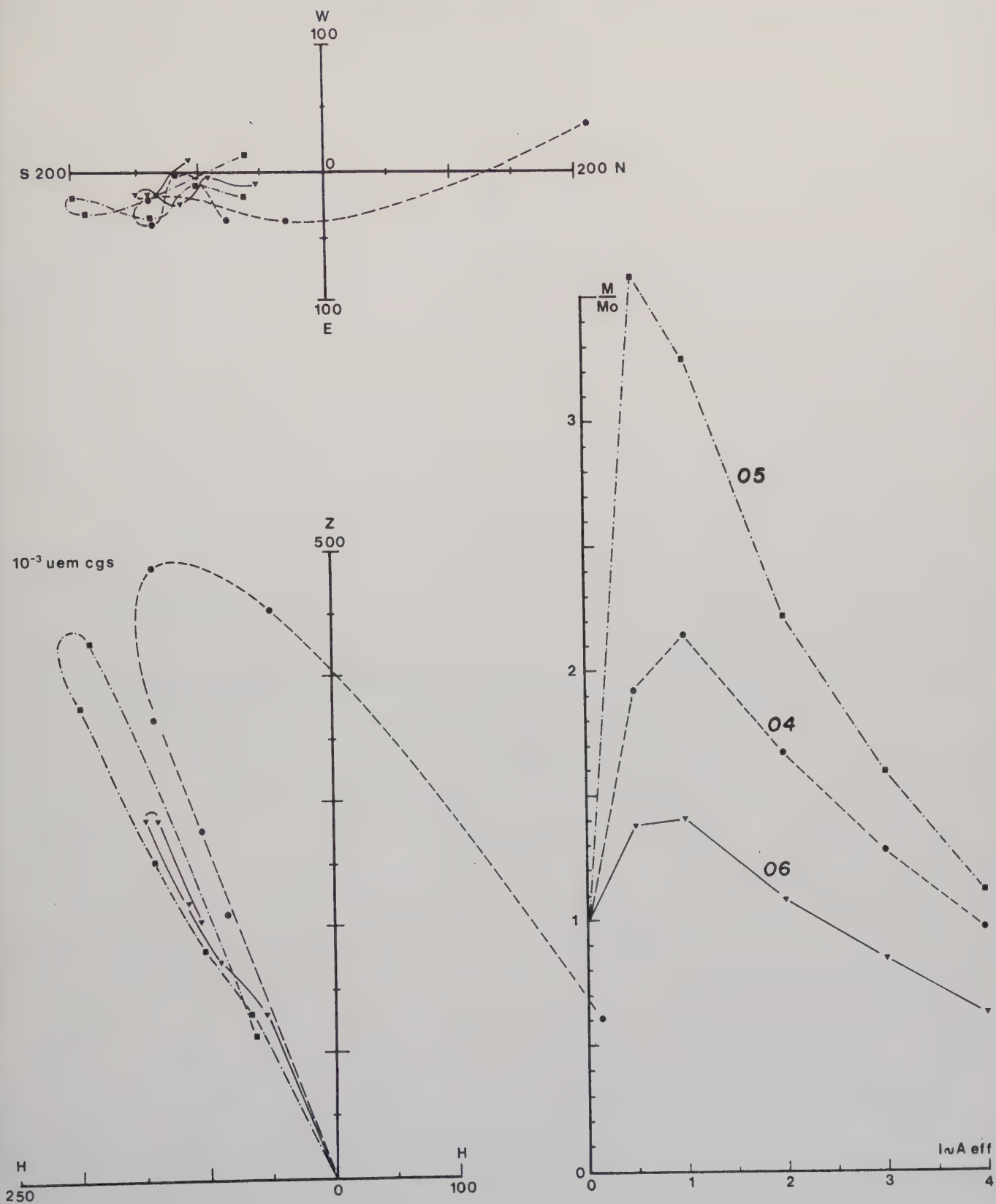


Fig. 25

Fig. 26 - Site 71 Massif du Sancy - Andésites supérieures du Val de Courre.

L'échantillon 67 VC 21 12 porte avec une ARV douce une ATR dure.

Les ARI qui sont présentes dans les échantillons 67 VC 21 12 et 11 sont cependant détruites et l'ATR atteinte. Bel exemple de l'efficacité du lavage magnétique.

Site 71 - Massif du Sancy (67 VC 21 - 10 - 11 - 12)

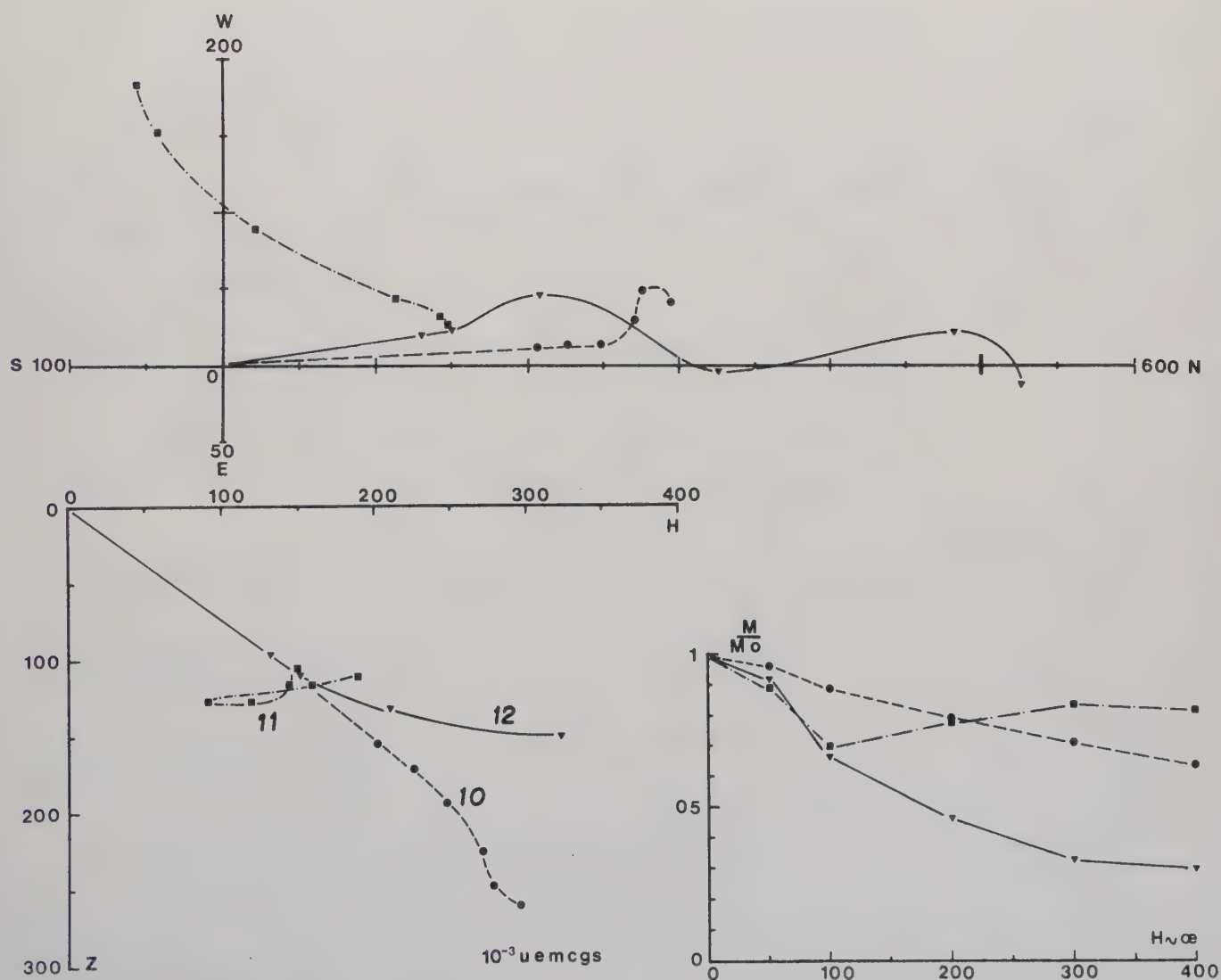


Fig. 26

Fig. 27 - Site 101 Secteur de Murols Basalte β , de Chantignac
prés de Murols.

L'échantillon 67 M 11 05 est porteur d'une ARI ho-
rizontale intense, non entièrement détruite pour
 $I \sim_{\text{eff}} = 4 \text{ A}$

Toutefois la direction d'aimantation tend vers
celle portée par les autres échantillons. La posi-
tion et la forme de la courbe $\frac{M}{M_0}$ de cet échantillon
permet de penser que celle de l'échantillon 67 M 11 04
correspond à celle d'une ATR associée à une ARV faible.
L'échantillon 67 M 11 05 est porteur d'une ARV et
d'une ATR.

Notons que l'inclinaison étant forte l'ARV est plus
apparente sur la composante horizontale que sur la
composante verticale. Il en va de même pour l'ARA
qui apparaît en fin de désaimantation.

N.B.: Les graduations des graphiques sont les suivantes :
Pour l'échantillon 05

Projection horizontale $\left\{ \begin{array}{l} \text{OS } 600.10^{-2} \text{ uem.CGS} \\ \text{OE } 100.10^{-2} \text{ uem.CGS} \end{array} \right.$

Courbe $z = f(H)$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{OZ } 300.10^{-2} \text{ uem.CGS} \\ \text{OH } 700.10^{-2} \text{ uem.CGS} \end{array} \right.$

Pour les échantillons 04 et 06

Projection horizontale $\left\{ \begin{array}{l} \text{OS } 500.10^{-3} \\ \text{OE } 500.10^{-3} \end{array} \right.$

Projection verticale $\left\{ \begin{array}{l} \text{OZ } 3000.10^{-3} \\ \text{OH } 500.10^{-3} \end{array} \right.$

Site 101 - Secteur de Murols (67 M 11 - 04_05_06)

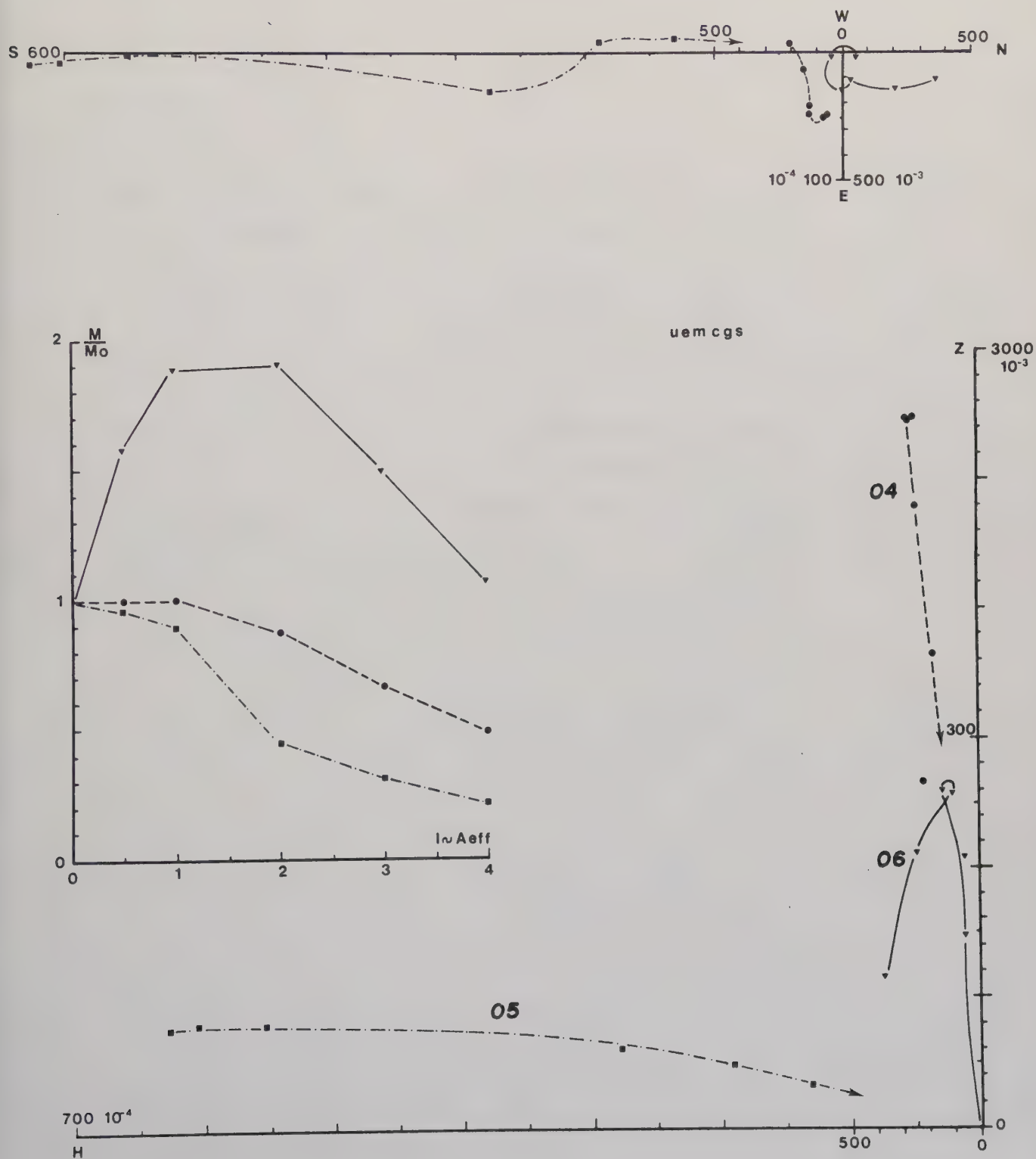


Fig. 27

Fig. 28 - Site 116 Secteur de Murols - Andésites sous Roussat.

Sur les 3 échantillons les ARI sont importantes.

La position et la forme de la courbe de désaimantation $\frac{M}{M_0}$ de l'échantillon 67 M 27 11 montre que ce bloc porte l'ARI la plus faible ce qui est confirmé par le fait que l'ATR semble atteinte à partir du palier correspondant à $I_N \text{ eff} = 2 \text{ A}$ (direction d'aimantation constante).

L'ARI portée par l'échantillon 67 M 27 10 est plus forte mais les directions obtenues pour les paliers $I_N \text{ eff} = 3$ et 4 A sont proches de celle de l'ATR.

L'ARI portée par l'échantillon 67 M 27 12 est la plus intense, l'ATR pure n'est pas atteinte pour le palier $I_N = 4 \text{ A}$. Toutefois la direction de l'aimantation tend bien vers une direction commune aux trois échantillons, attribuable à une ATR inverse.

Site 116 — Secteur de Murols (67_M27_10_11_12)

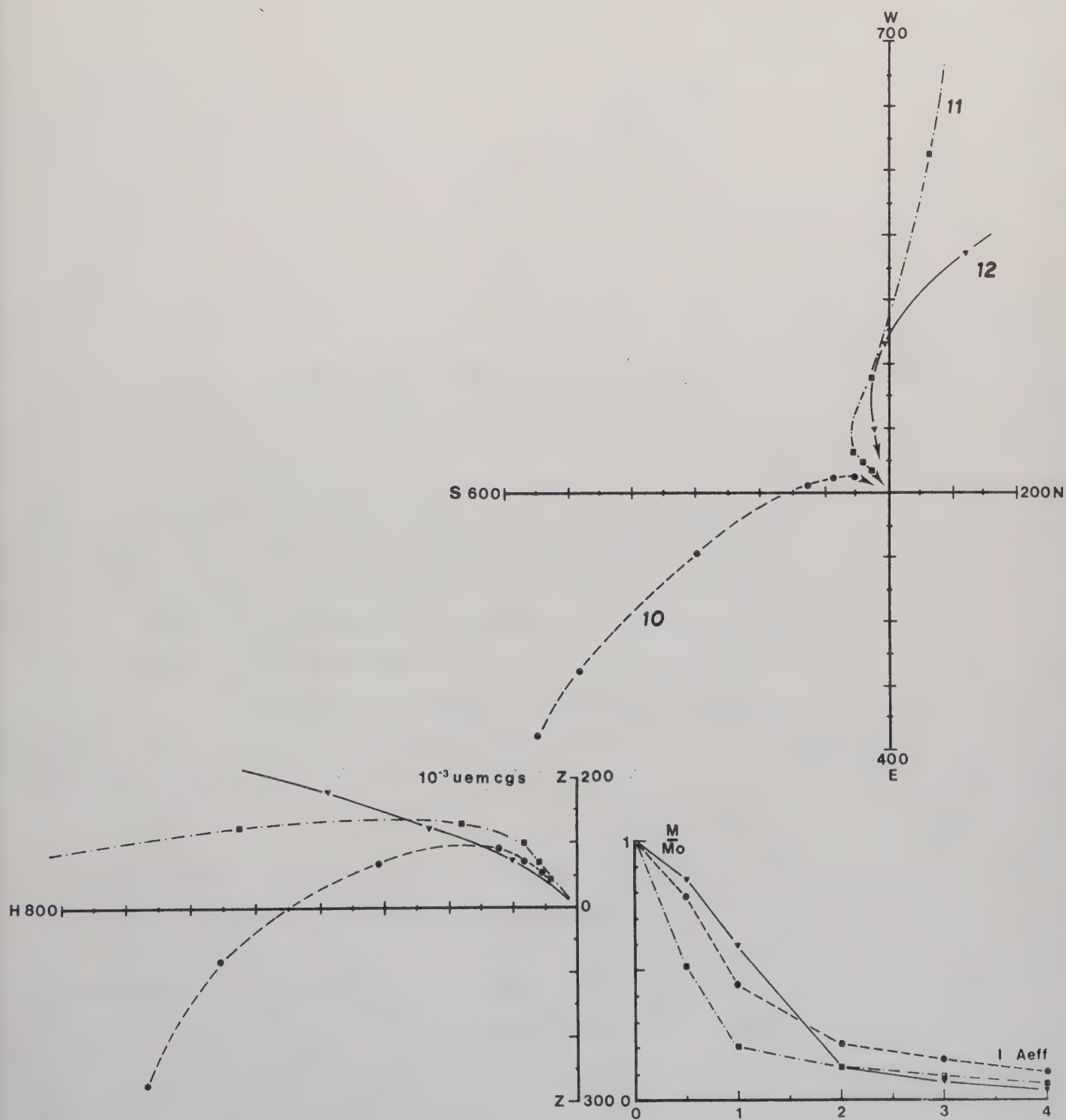


Fig. 28

Fig. 29 - Site 14 Massif de la Banne d'Ordanche.

La position des courbes de désaimantation montre que les ARI sont très fortes pour les échantillons 67 B0 23 09 et 10. Mais leur désaimantation montre que l'ATR doit subsister car les directions d'aimantation tendent vers la même limite que celle du bloc 67 B0 23 08 ou l'ATR normale est atteinte. Pour mettre en évidence l'importance des ARI et l'évolution en fin de désaimantation, nous avons dédoublé les courbes de direction. Sur les courbes définies par (OS - 200 ; OE - 180) et (OH - 200 ; OZ - 110), dont le vecteur unitaire est égal à 10^{-1} uem CGS, l'importance des ARI, portées par les blocs 09 et 10, est évidente. Par contre, l'évolution des aimantations en fin de désaimantation est très visible sur les courbes définies par (OS - 400 ; OE - 250) et (OH - 350 ; OZ - 200) où le vecteur unitaire est égal à 10^{-3} uem CGS.

Site 14 - Massif de la Banne d'Ordanche (67 B023_08-09-10)

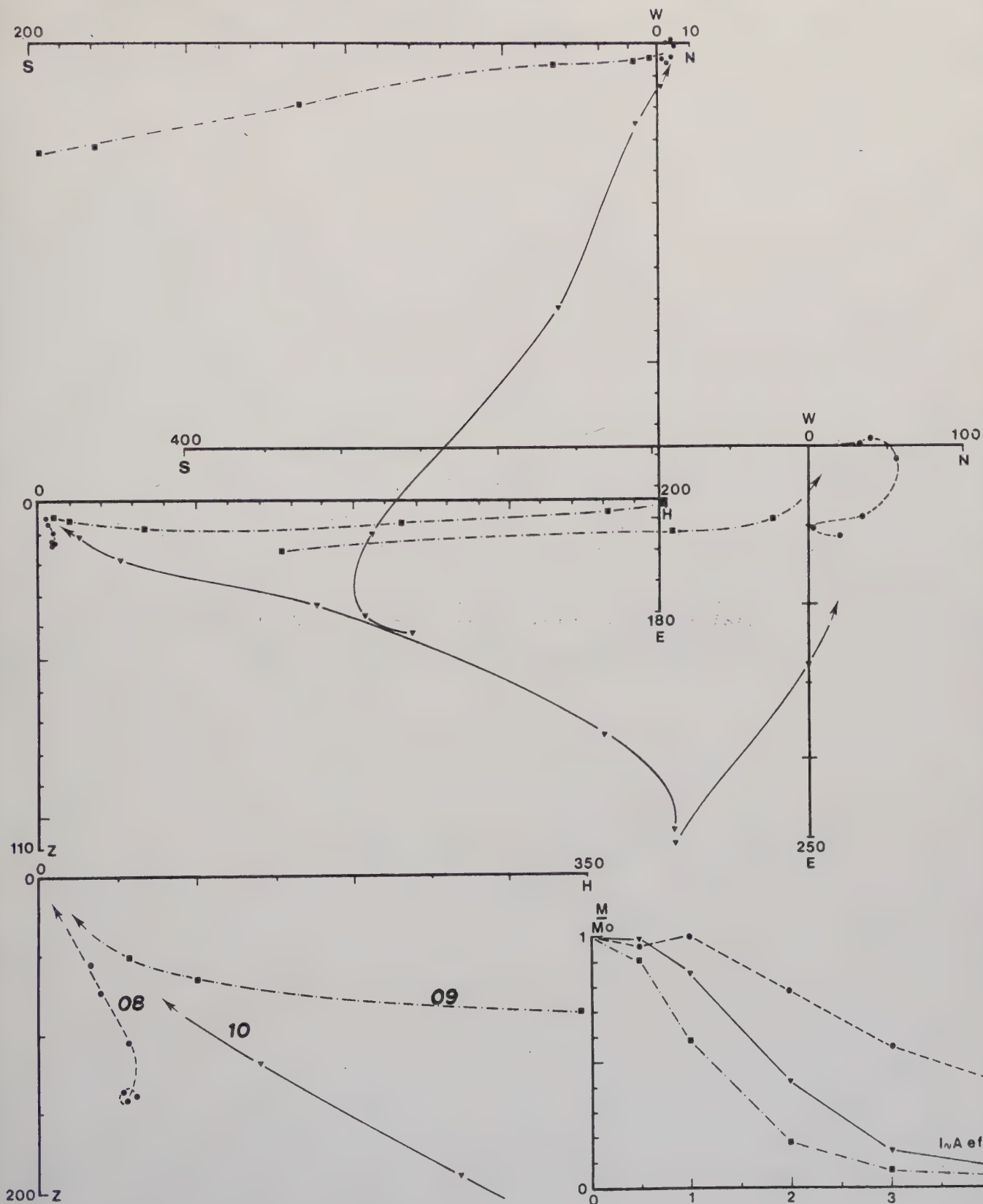


Fig. 29

Fig. 30 - Site 100 Secteur de Murols. Dyke de β_1 près du
château d'eau.

Bel exemple d'ATR dure normale sur 67 M 11 02 et 03.

Une ARI s'ajoute à l'ATR sur 67 M 11 01.

Site 100 - Secteur de Murols (67 M 11 - 01-02.03)

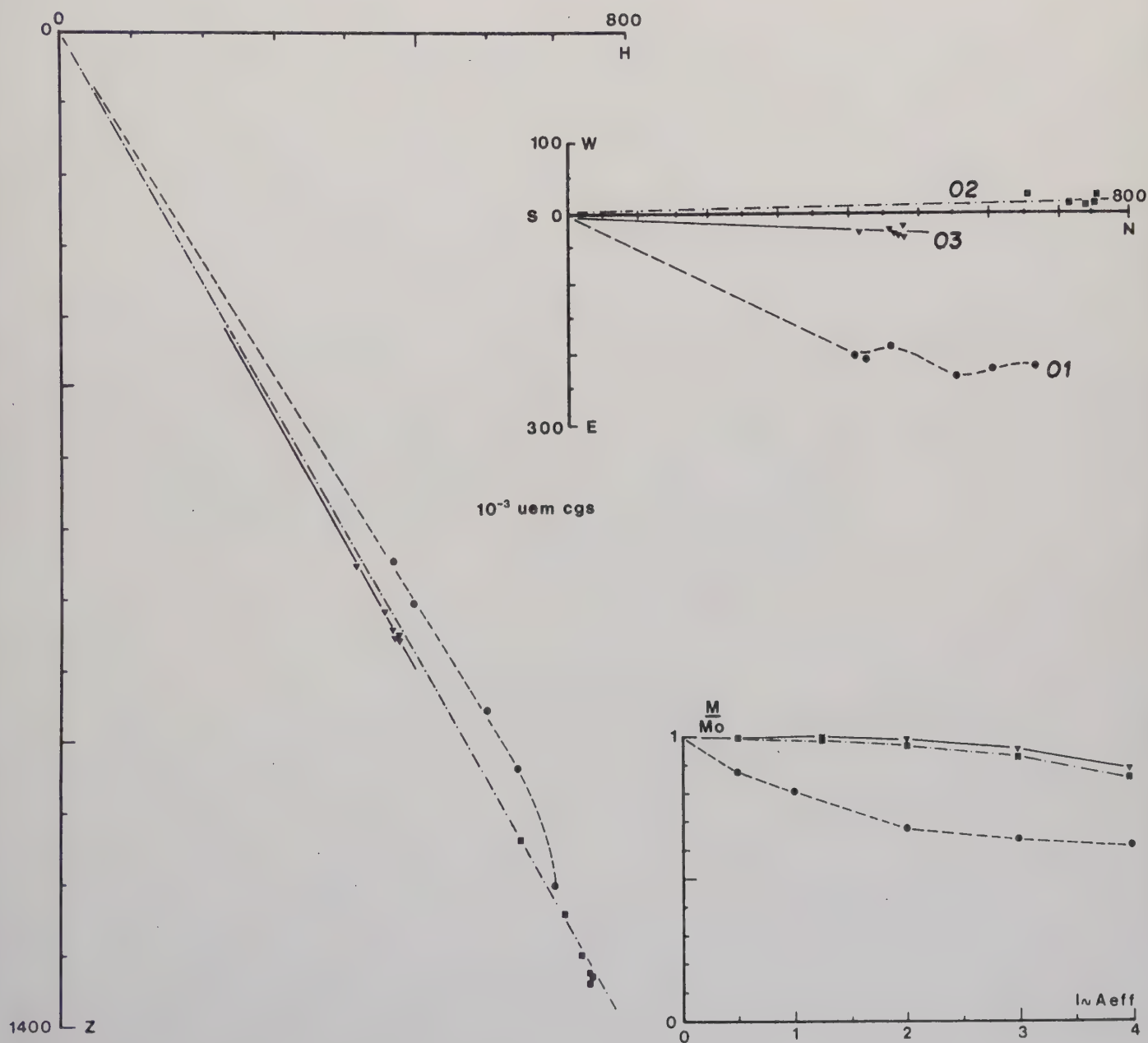


Fig. 30

Fig. 31 - Site 102 Secteur de Murois. - β , de Chantignac.
ARV importante sur ATR inverse.
Nous concluons à une ARV car le test de viscosité montre son importance et les aimantations parasites ont une direction voisine de celle du champ actuel.

Site 102 - Secteur de Murols (67 M11_07_08_09)

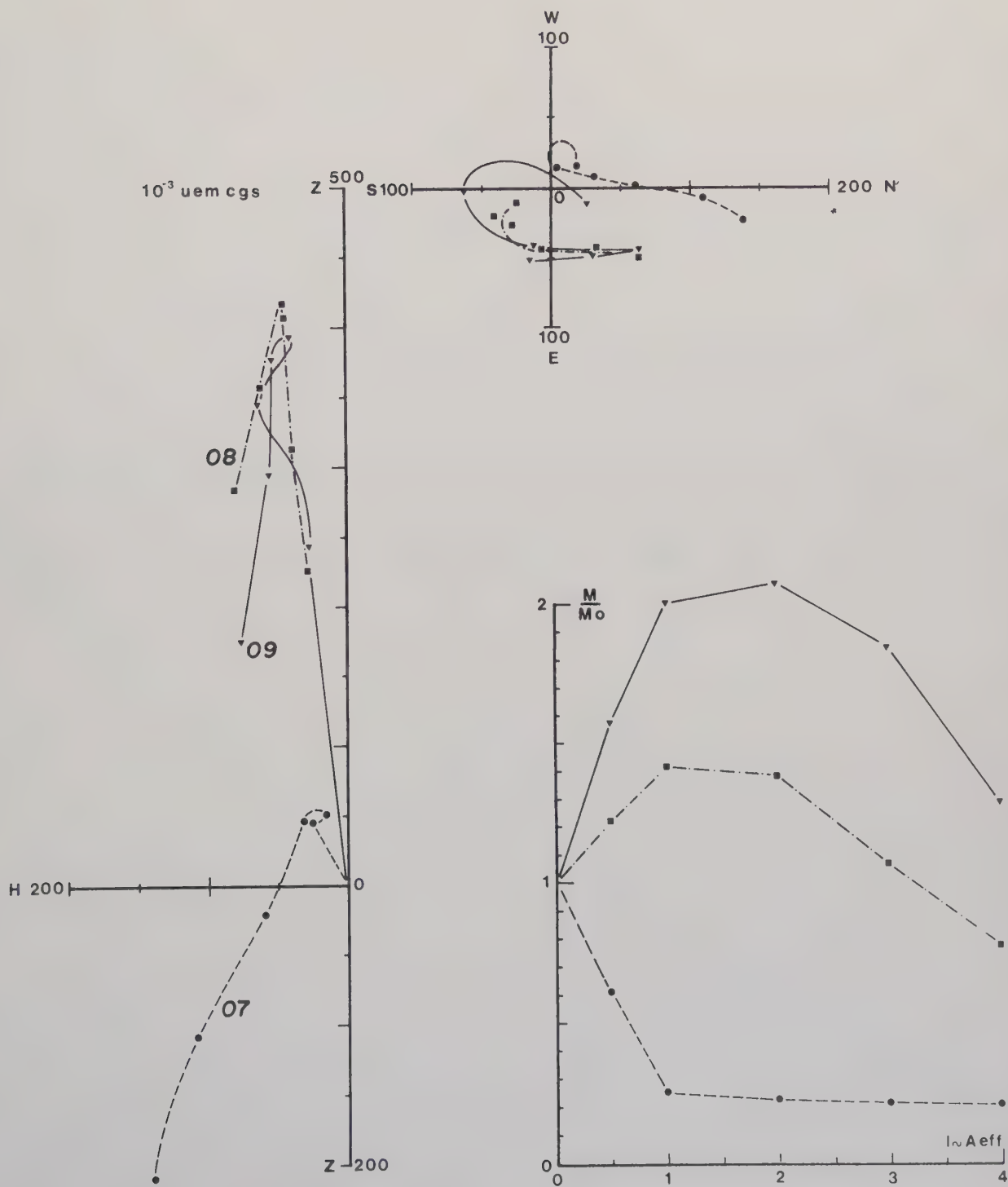


Fig. 31

Fig. 32 - Site 115 Secteur de Murois - Basalte de la carrière de Cheix.

ARV sur ATR normale douce.

Site 115 - Secteur de Murols (67 M 27 - 07-08-09)

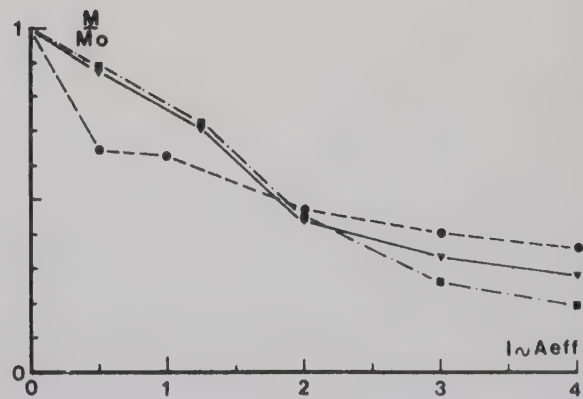
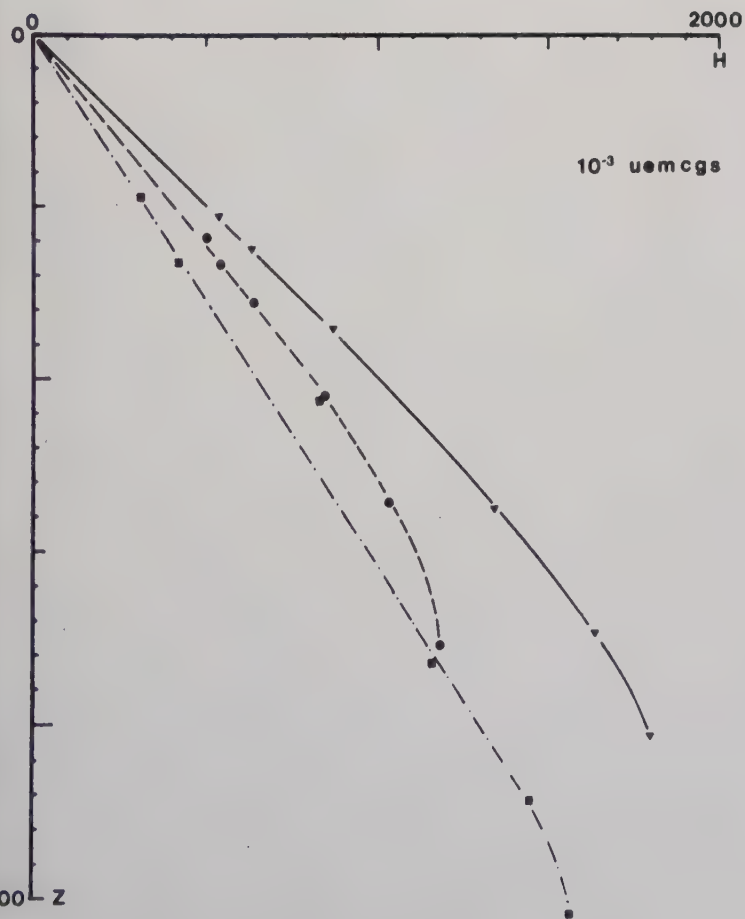
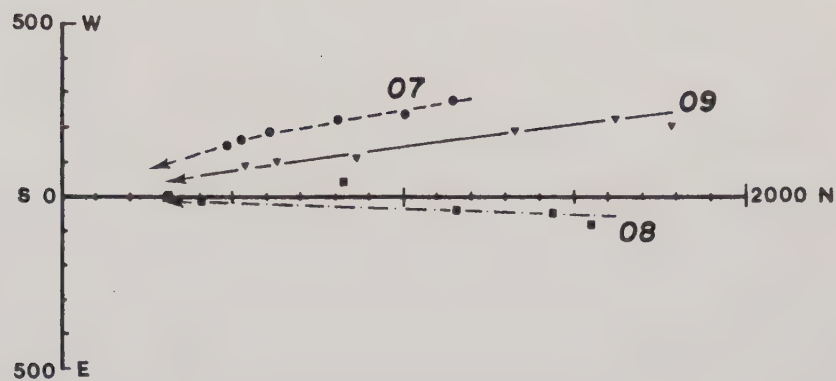


Fig. 32

Fig. 33 - Site 103 Secteur de Murols - β' de Beaune.
ARV sur ATR douce.
Des ARA parasites apparaissent sans doute pour
I λ = 3 et 4 A.

Site 103 - Secteur de Murols (67 M 11 - 10 - 11 - 12)

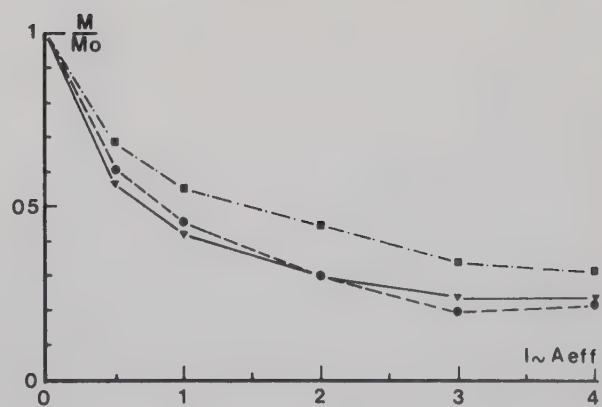
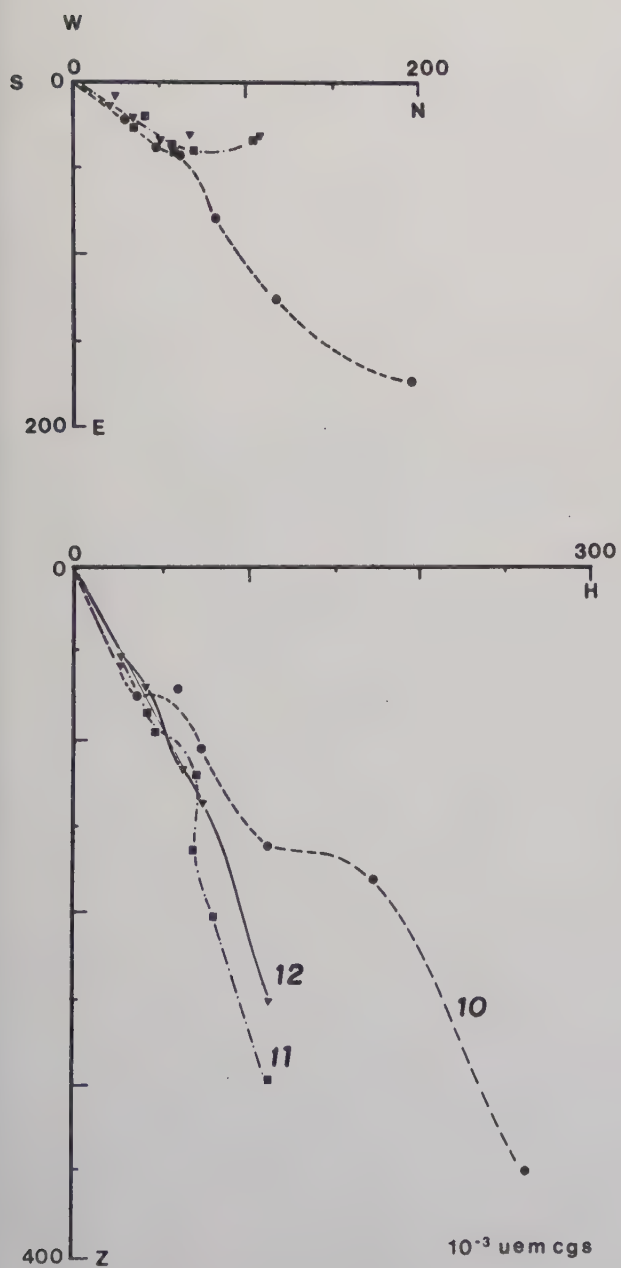


Fig. 33

Fig. 34 - Site 104 Secteur de Murols - β_{II} inférieur de Boissières.

Exemples d'ARI masquant des ATR. Le lavage permet cependant de mettre en évidence une aimantation commune.

Les flèches indiquent que pour les échantillons O2 et O3, nous avons seulement reporté les données obtenues pour les derniers stades de la désaimantation, les points représentatifs des premiers stades étant au-delà des limites des graphiques.

Site 104 - Secteur de Murols (67 M 26 - 01 - 02 - 03)

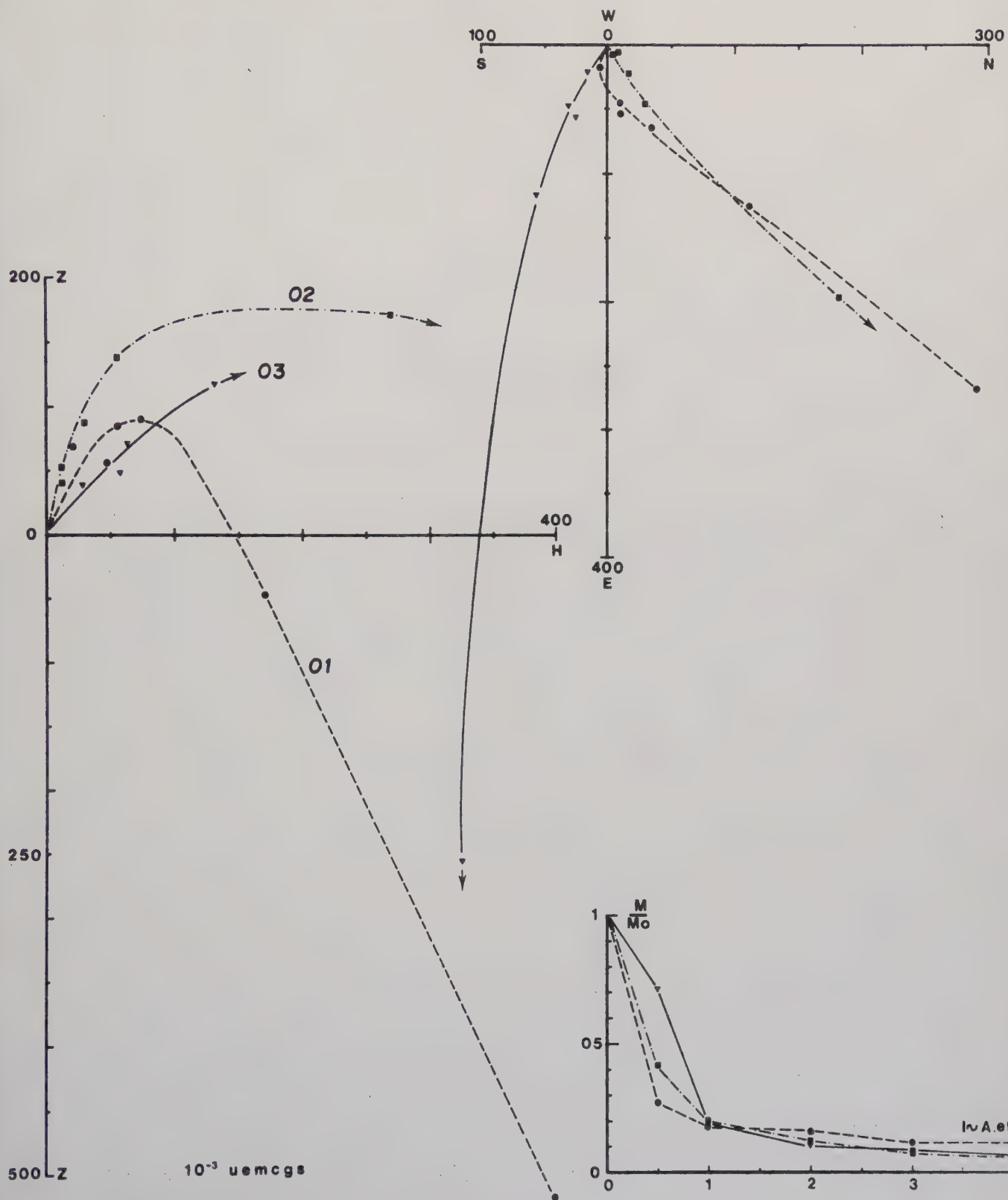


Fig. 34

Fig. 35 - Site 113 Secteur de Murols - β_1 de Roche Romaine.
L'ATR inverse est masquée par des ARV dont la présence est révélée par les tests de viscosité.
La déclinaison converge bien en fin de désaimantation (O1 : 163°W - O2 : 156°W - O3 : 163°W).

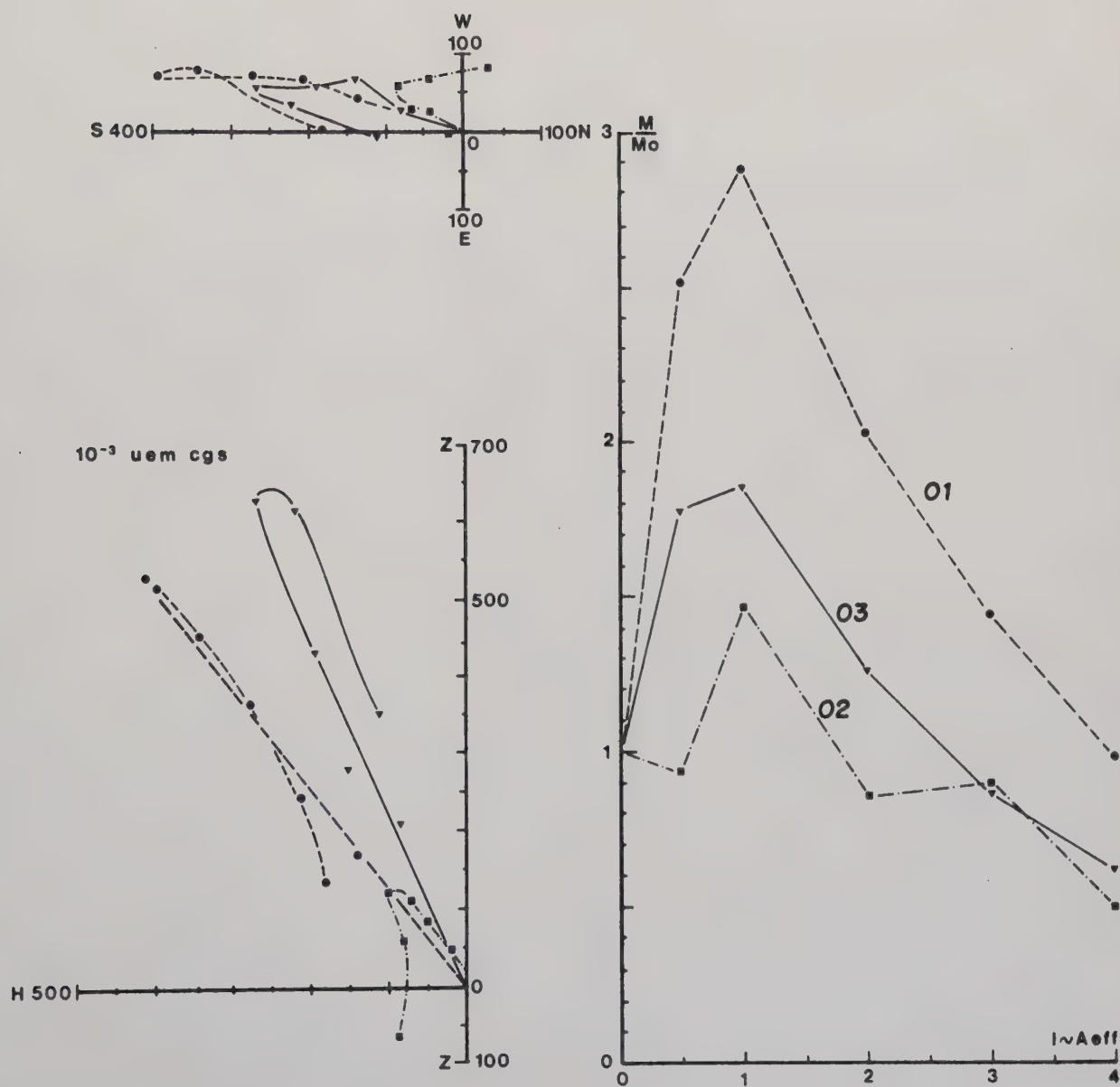


Fig. 35

Fig. 36 - Site 106 Secteur de Murols - β_n inférieur de
Laval.

L'ATR inverse est altérée par des ARV.

Site 106 - Secteur de Murols (67 M26 - 07-08-09)

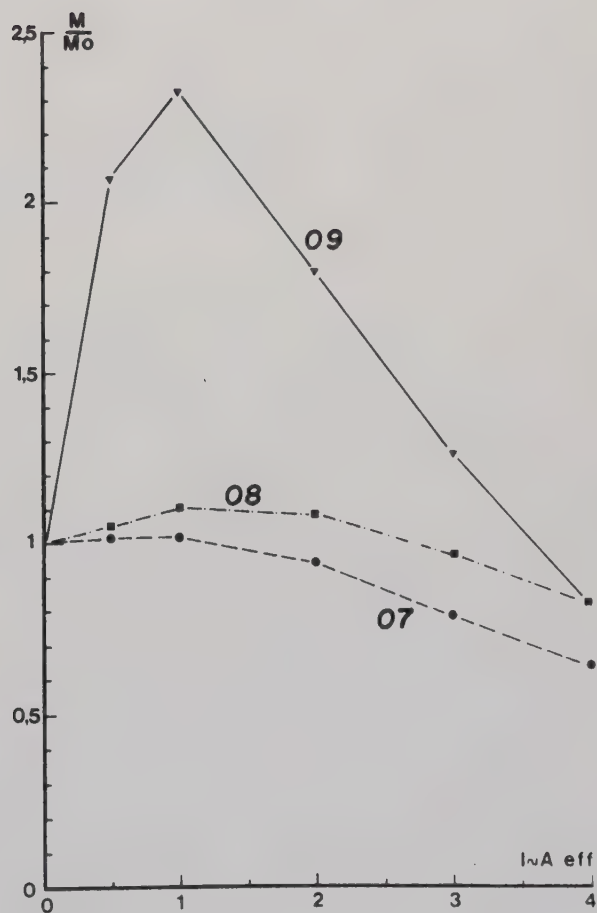
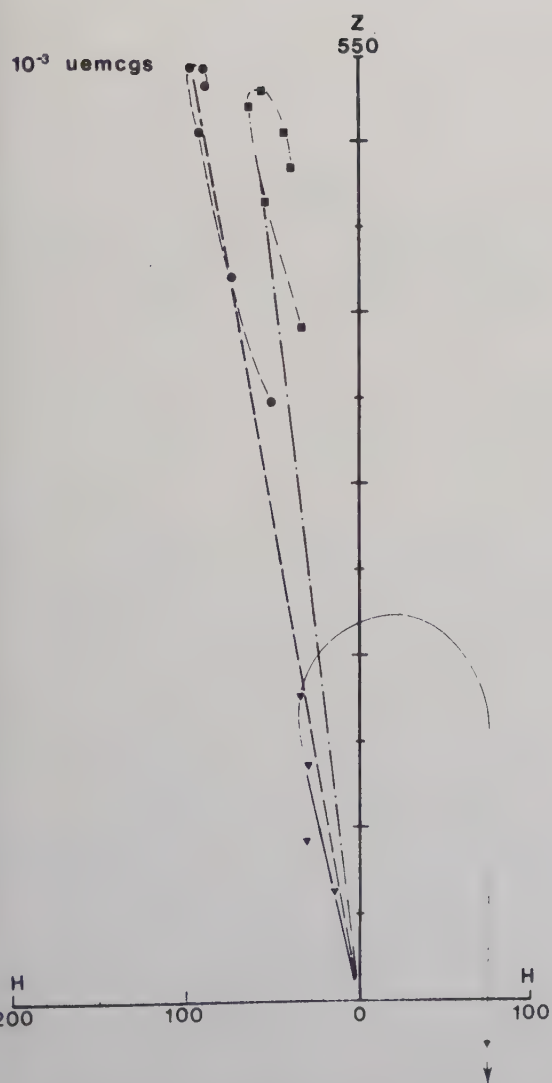
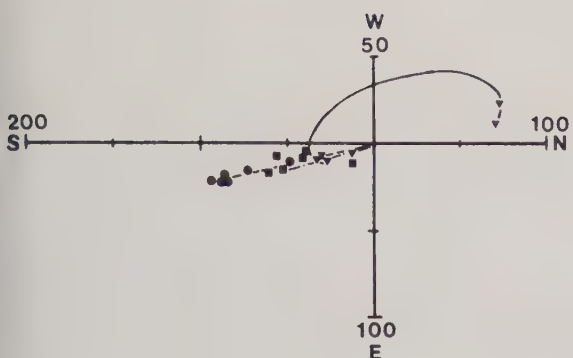


Fig. 36

Fig. 37 - Site 105 Secteur de Murols - β entre Murols et Boissières.

Les échantillons 67 M 26 04 et 05 sont porteurs d'une ATR dure. Celle-ci est masquée sur l'échantillon 06 par une ARI qui disparaît pour $I_N = 2$ A.

Site 105 - Secteur de Murols (67 M26 _04_05_06)

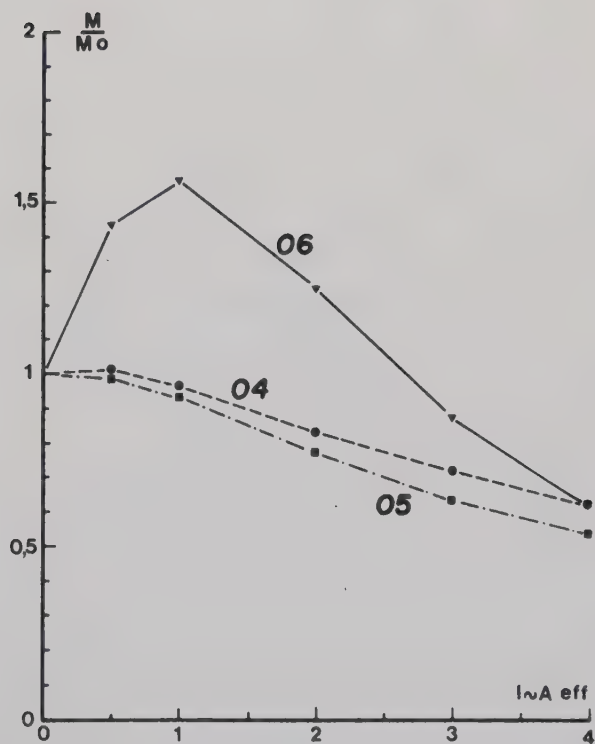
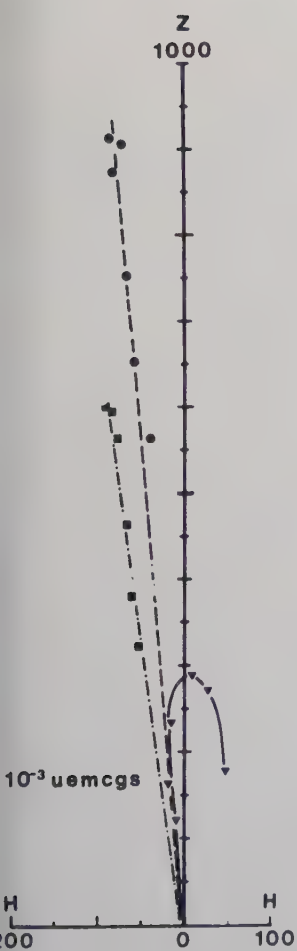
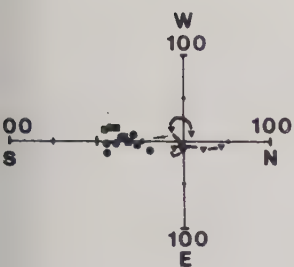


Fig. 37

Fig. 38 - Site 10 Massif de la Banne d'Ordanche.

Les trois échantillons sont porteurs d'ARI très fortes. La désaimantation à 4 A ne permet pas d'atteindre l'ATR mais les directions des moments convergent vers une même direction. L'ATR serait donc normale mais sa direction n'est pas connue. Les figures portant l'indication 10^{-2} (vecteur unitaire = 10^{-2} uem CGS) montrent l'évolution de l'aimantation tout au long de la désaimantation. Pour préciser l'évolution en fin de désaimantation nous avons reporté les points correspondants sur les graphiques portant la mention 10^{-3} (vecteur unitaire = 10^{-3} uem CGS).

Site 10 - Massif de la Banne d'Ordanche (67 80 23 _01_02_03)

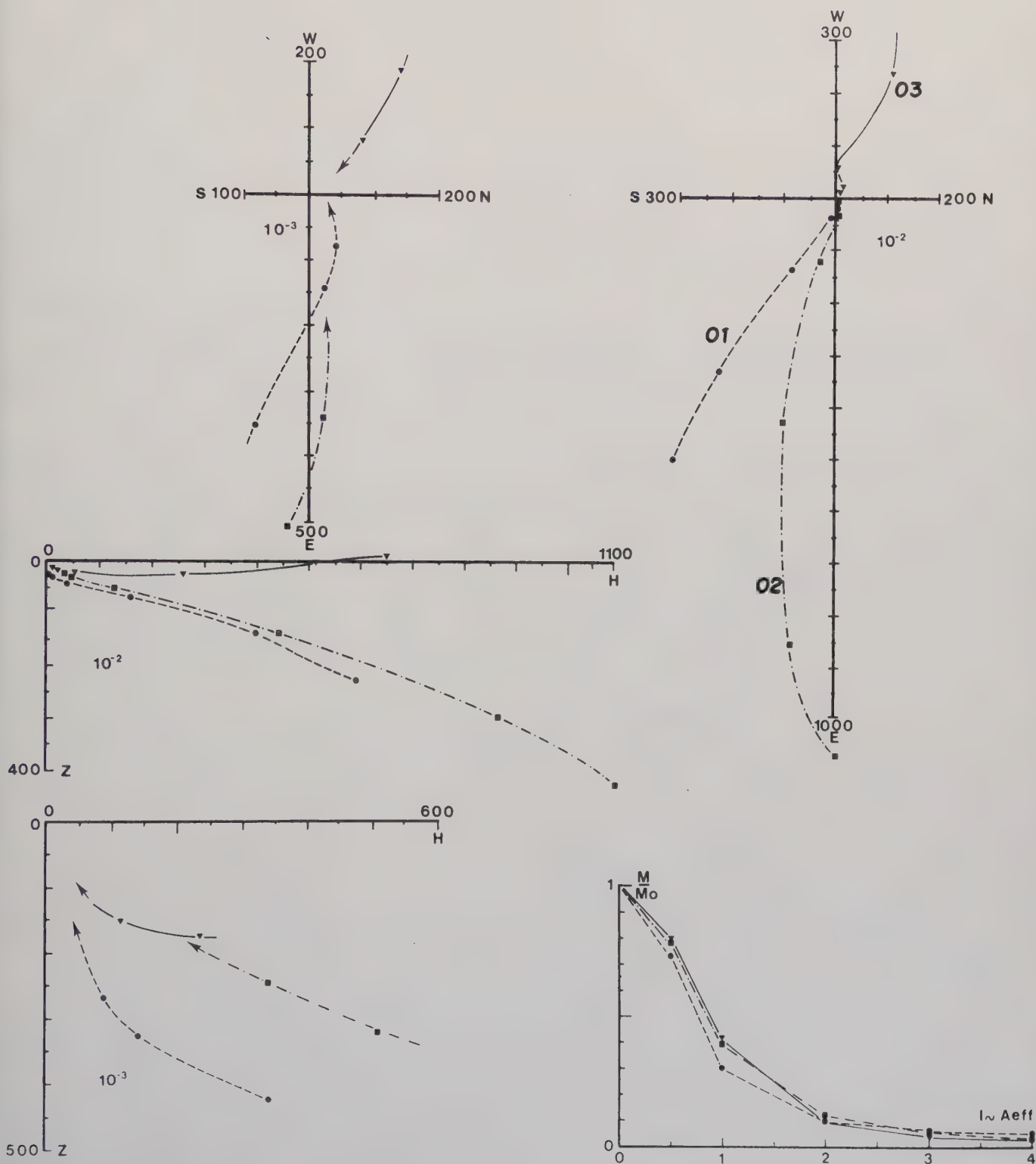


Fig. 38

Fig. 39 - Site 107 Secteur de Murols - β^1 supérieur de Laval.
L'échantillon 67 M 26-11 (Courbes avec carrés pleins) est porteur d'une ATR inverse et d'une ARV douce. Les échantillons 67 M - 26-10 et 12 portent des aimantations plus complexes. Le bloc 67 M - 26-12 (courbes avec triangles pleins) est parasité non seulement par une ARV mais aussi par une autre aimantation parasite qui disparaît pour $I = 3A$ eff. Il semble que l'on ait l'ATR à partir de ce niveau soit pour un champ alternatif voisin de 300 Oe.
Pour le bloc 67 M - 26-10 (Courbes avec cercles pleins) une seconde aimantation parasite s'ajoute aussi à l'ATR. A ne considérer que la courbe $\frac{M}{M_0} = \phi(I\sqrt{A_{eff}})$ correspondante (Numérotée 13), on pourrait penser que ce bloc n'est porteur que d'une ARV et d'une ATR relativement dure. Par contre, l'examen des courbes donnant la direction montre que, après disparition de l'ARV, l'ATR pure, qui doit être presque atteinte à la fin de la désaimantation, est masquée par une aimantation parasite dont la nature est difficile à déterminer ARI ou ATR partielle ?

Site 107 - Secteur de Murols (67 M 26 - 10-11-12)

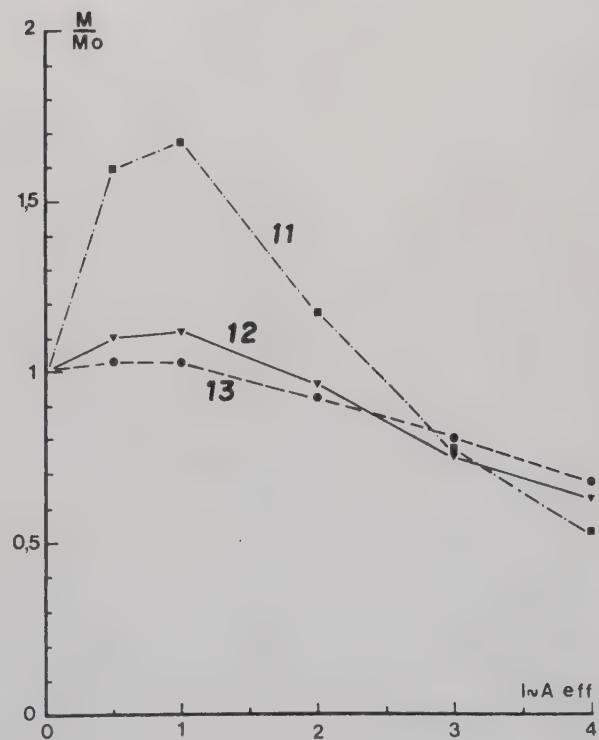
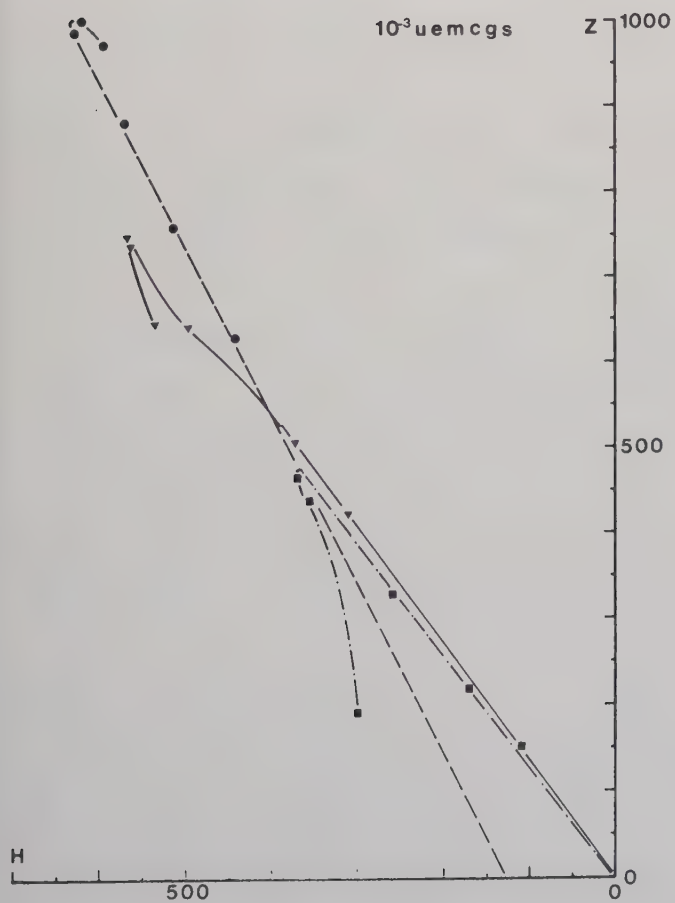


Fig. 39

Fig. 40 - Site 12 Massif de la Banne d'Ordanche.

L'échantillon 67 B0 02 est porteur d'une ARI douce et d'une ATR dure.

Les échantillons 67 B0 01 et 67 B0 03 sont porteurs d'ARI très fortes.

Mais la désaimantation montre que le moment doit comporter une composante voisine de l'ATR portée par 67 B0 02 qui peut donc caractériser la coulée en ce qui concerne le sens de l'ATR. La direction devra bien sûr être considérée avec réserve. Les graphiques portant les indications 10^{-2} (vecteur unitaire 10^{-2} uem CGS) sont des aggrandissements de la partie terminale (fin de la désaimantation) des graphiques portant l'indication 10^{-1} (vecteur unitaire 10^{-1} uem CGS). Ils montrent l'importance des ARI portées par les blocs 01 et 03.

Site 12 _ Massif de la Banne d'Ordanche (67 80 _ 01_02_03)

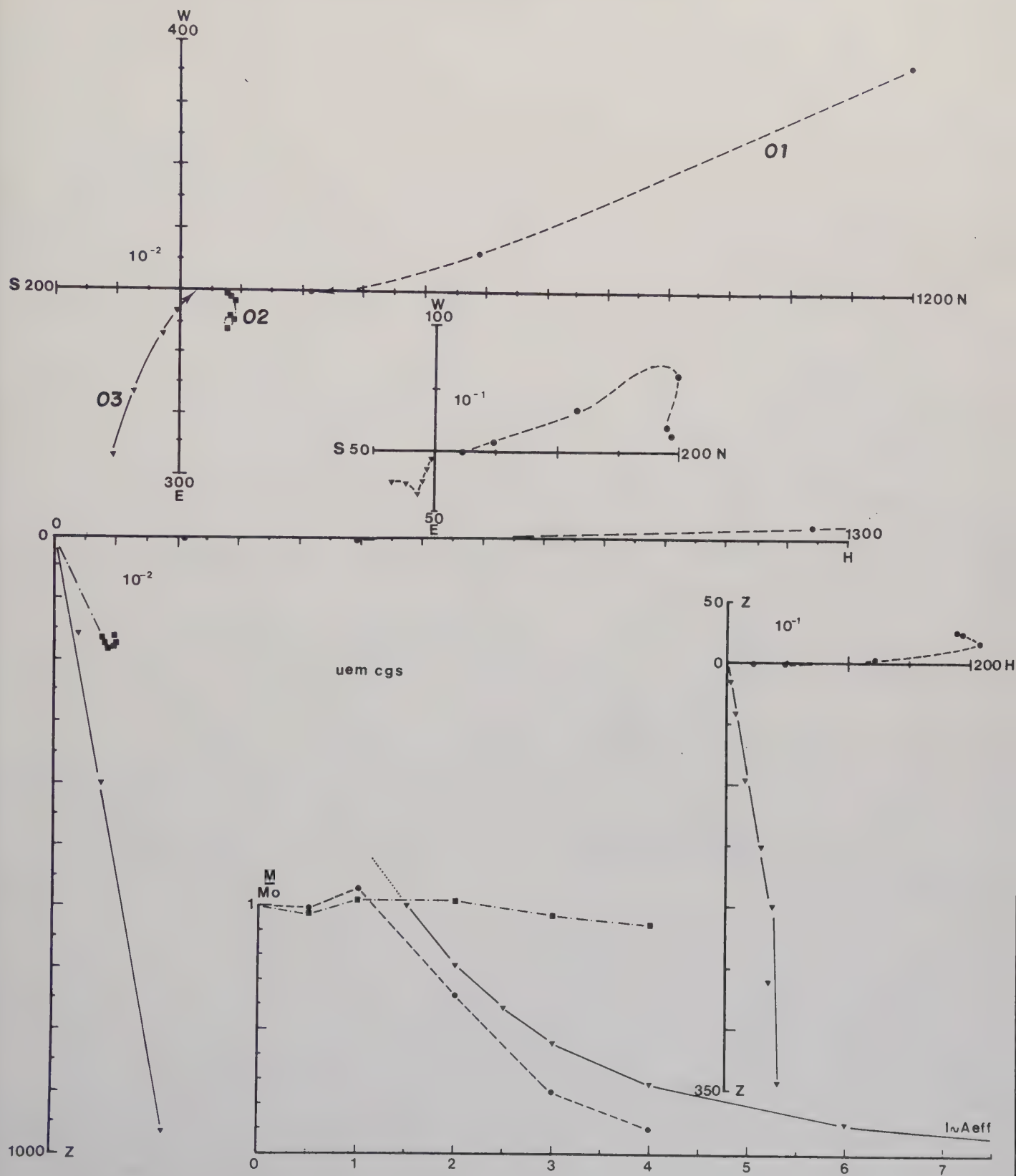


Fig. 40

Fig. 41 - Site 72 Massif du Sancy - Trachy andésites inférieures du Cliergues.

ATR dure sur 67 VC 21 03. Une ARI vient altérer cette ATR sur 67 VC 21 01.

Les flèches qui indiquent sur les graphiques donnant la direction des aimantations le sens de déplacement des points quand $H \sim O_e$ croît, ont été exagérées pour montrer que le bloc 67 VC 21-02 est porteur d'une aimantation complexe. La courbe $\frac{M}{H} = \Phi(H)$, qui ferait penser à une ATR dure, ne montre pas ce caractère complexe.

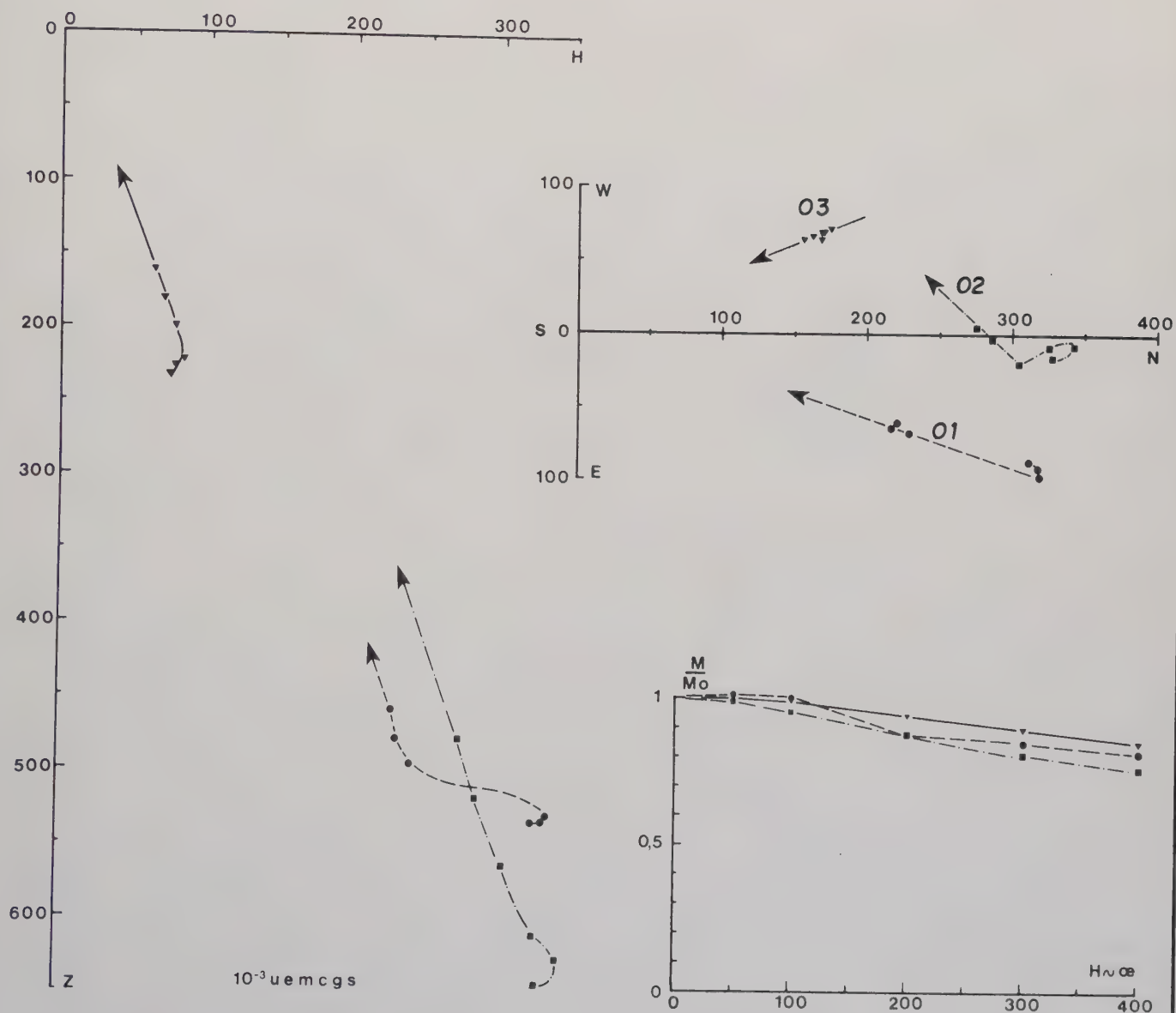


Fig. 41

Fig. 42 - Site 43 Massif du Sancy - Doréites des Rigolets
Hauts.
Une ARI vient perturber l'ATR sur 67 Ca 22 05 et
67 Ca 22 04.
L'ATR est pure sur 67 Ca 22 07.

Site 43 - Massif du Sancy (67 Ca 22_04.05.06.07)

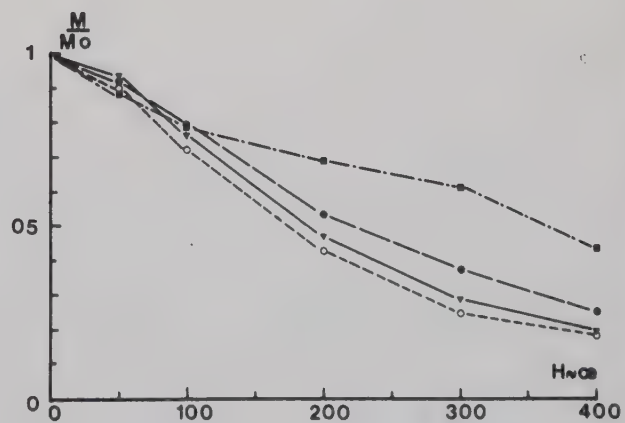
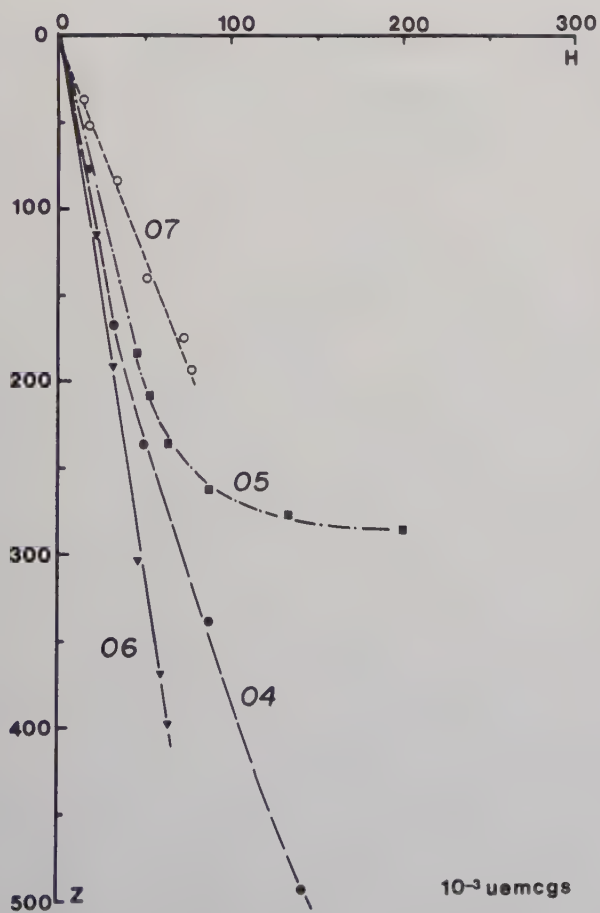
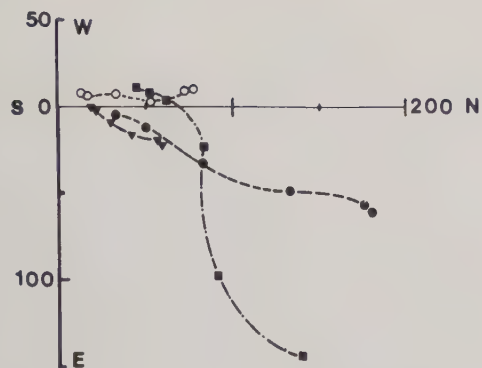


Fig. 42

Fig. 43 - Site A_3 Devès.

L'ATR inverse est accompagnée d'une légère ARV sur
66 V 18 07. comme le montre le test de viscosité.
Des ARI s'y ajoutent sur 66 V 18 08 et 09.

Site A3 — Dèves (66 V 18-07-08-09)

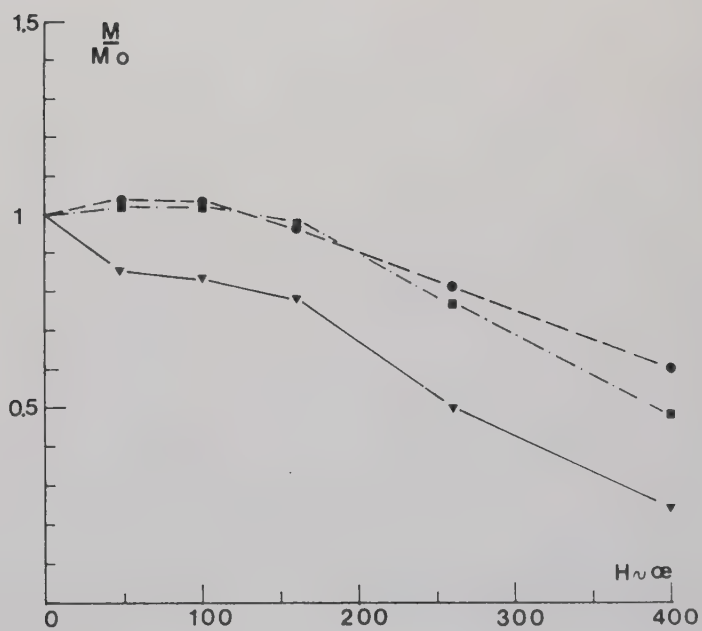
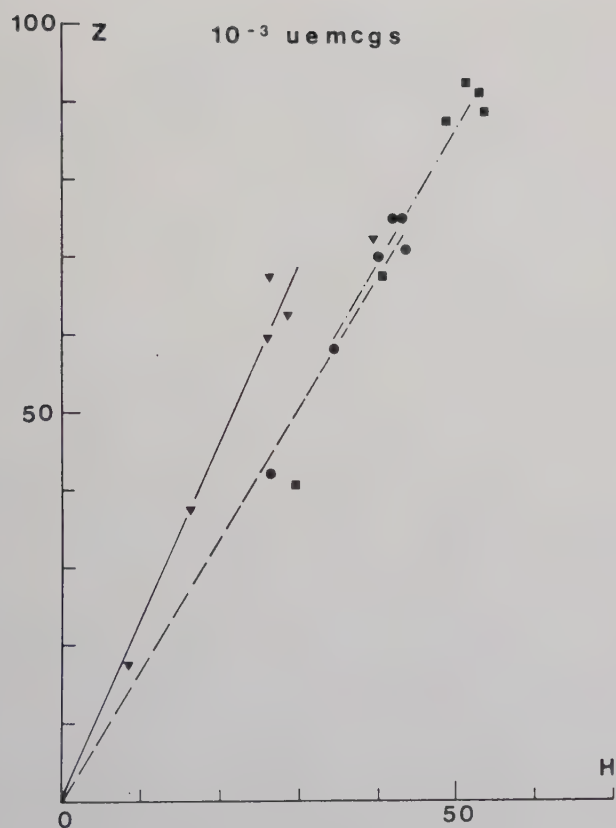
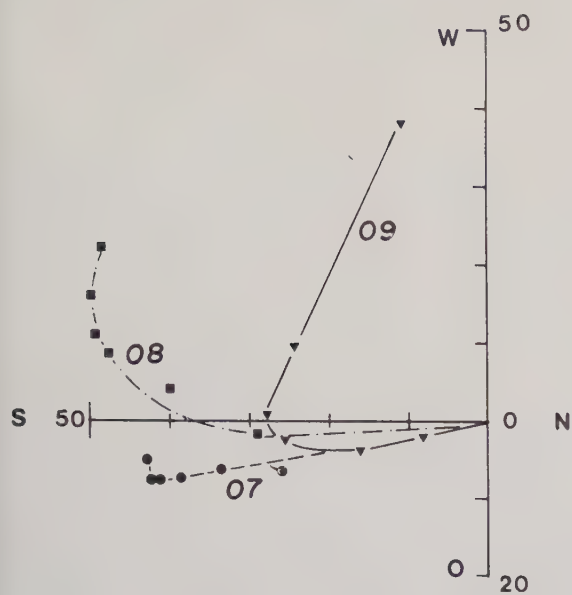


Fig. 43

Fig. 44 - Beaux exemples d'ARI d'intensité et de sens variable sur ATR dure qui est atteinte ou presque après lavage à 400 Oe.

Site Massif du Sancy

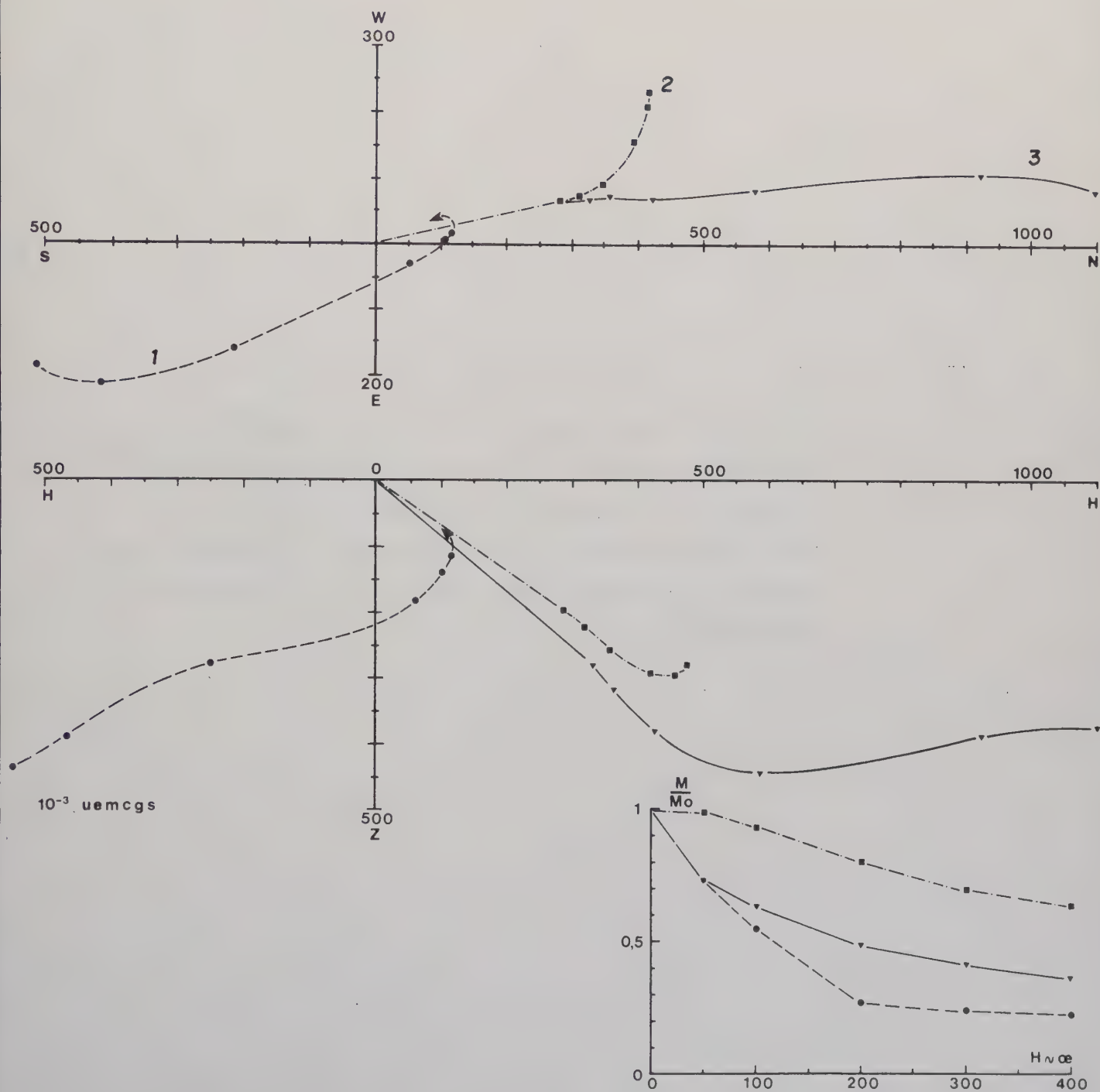


Fig 44

Fig. 45 - Site 108 Secteur de Murols - Coulée β_n moyen de Laval.

L'ARV très développée sur 67 M 26 13 comme l'atteste le test de viscosité, ne masque pas cependant l'ATR faible qui est atteinte dans tous les cas.

La flèche portée sur le graphique 13 indique que le point correspondant à $H_v=0$ est en dehors du graphique.

Site 108 Secteur de Murols (67 M 26_13_14_15)

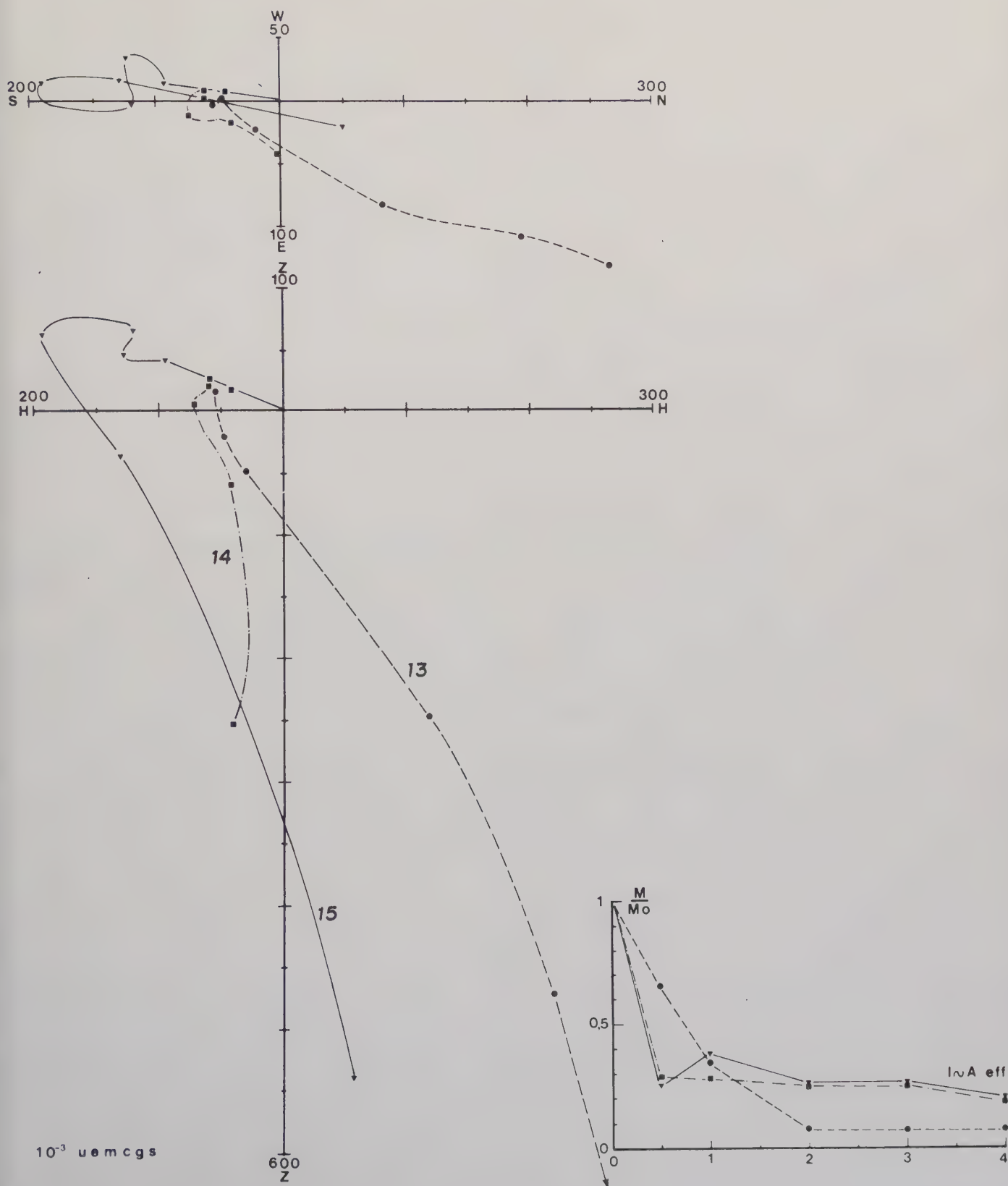


Fig. 45

Fig. 46 - Site A₄ Devès - Dyke de basalte.

L'ARV faible sur 66 V 18 12 (T^x de viscosité 8% sur 60 jours) ne masque pas l'ATR douce. Mais l'ARA devient sensible à 500 Oe.

L'ARV est plus forte sur 66 V 18 11 (T^x de viscosité 35% sur 120 jours) mais l'ATR est atteinte malgré l'ARA qui se développe à 400 et 500 Oe.

L'ARA devient importante dès 200 Oe sur 66 V 18 10.

Elle s'ajoute alors à la viscosité pour masquer l'ATR. Toutefois la convergence des résultats entre 150 et 200 Oe permet de dire que l'ATR est peut-être

te inverse. Cependant étant donné l'importance des aimantations parasites nous ne pouvons pas être certains que les aimantations que nous désignons ATR correspondent réellement à des ATR.

Site A 4 - Dèves. (66 V 18 - 10 - 11 - 12)

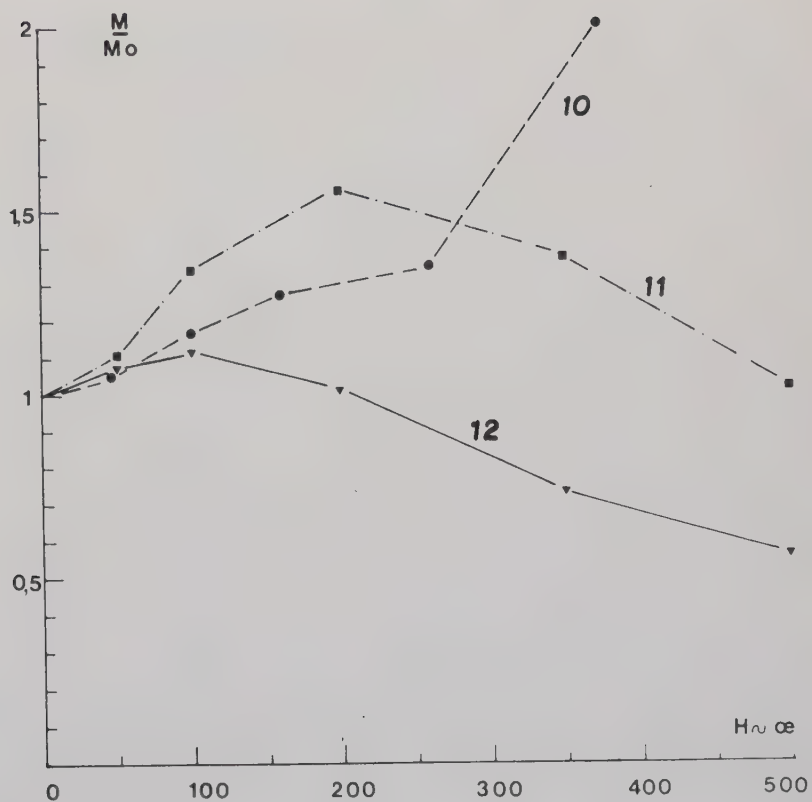
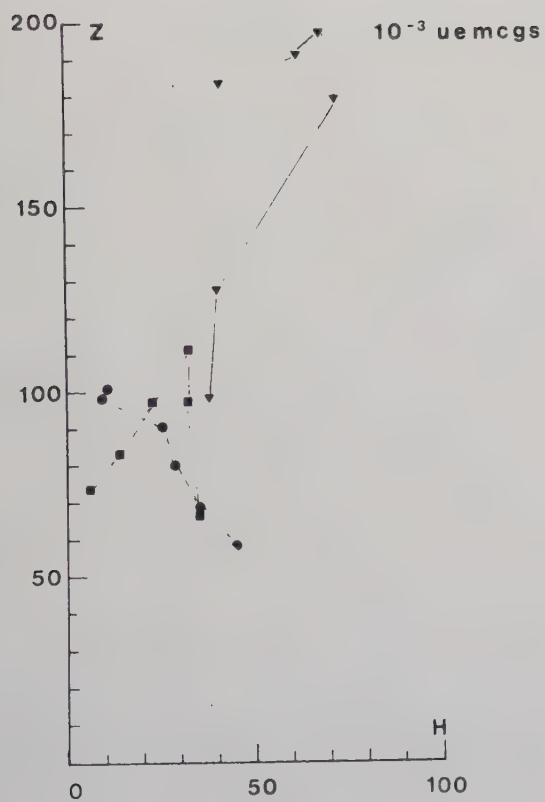
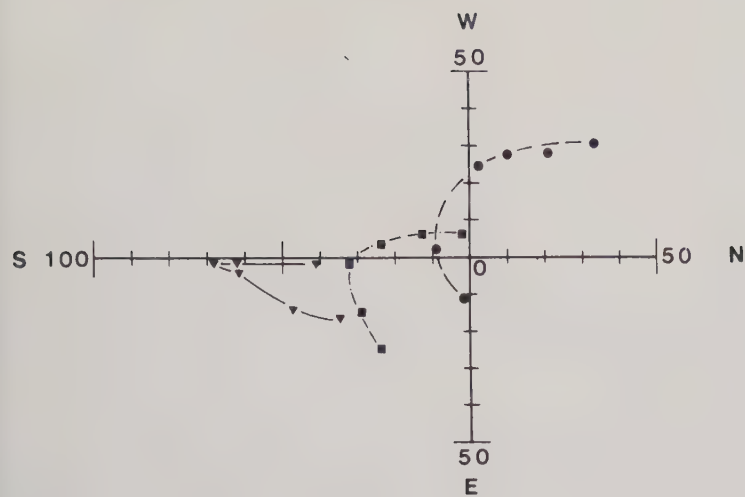


Fig. 46

Fig. 47 - Site A 1 Devès - Andésites du premier remblaiement.

Les ARV sont importantes mais l'ATR est atteinte.

Site A1 - Dèves (66 V18 _01_02_03)

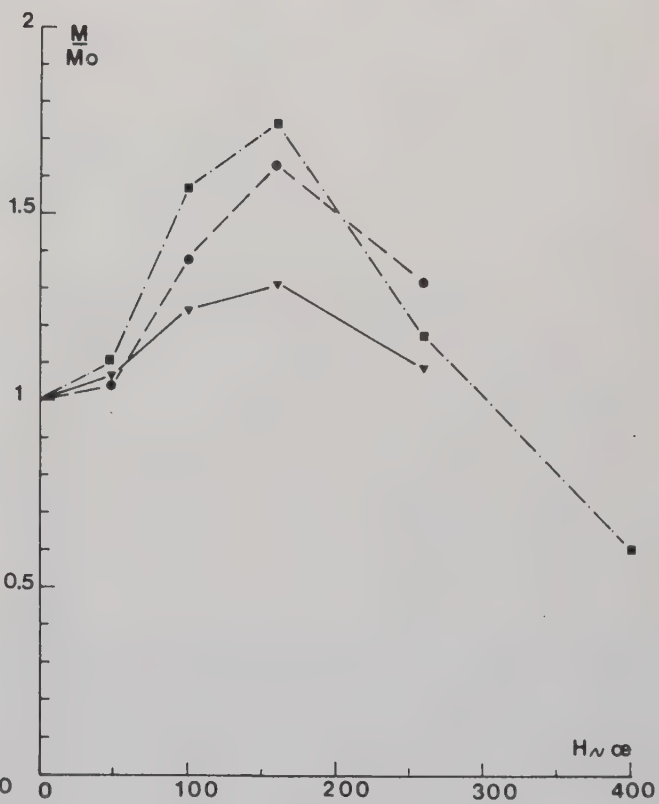
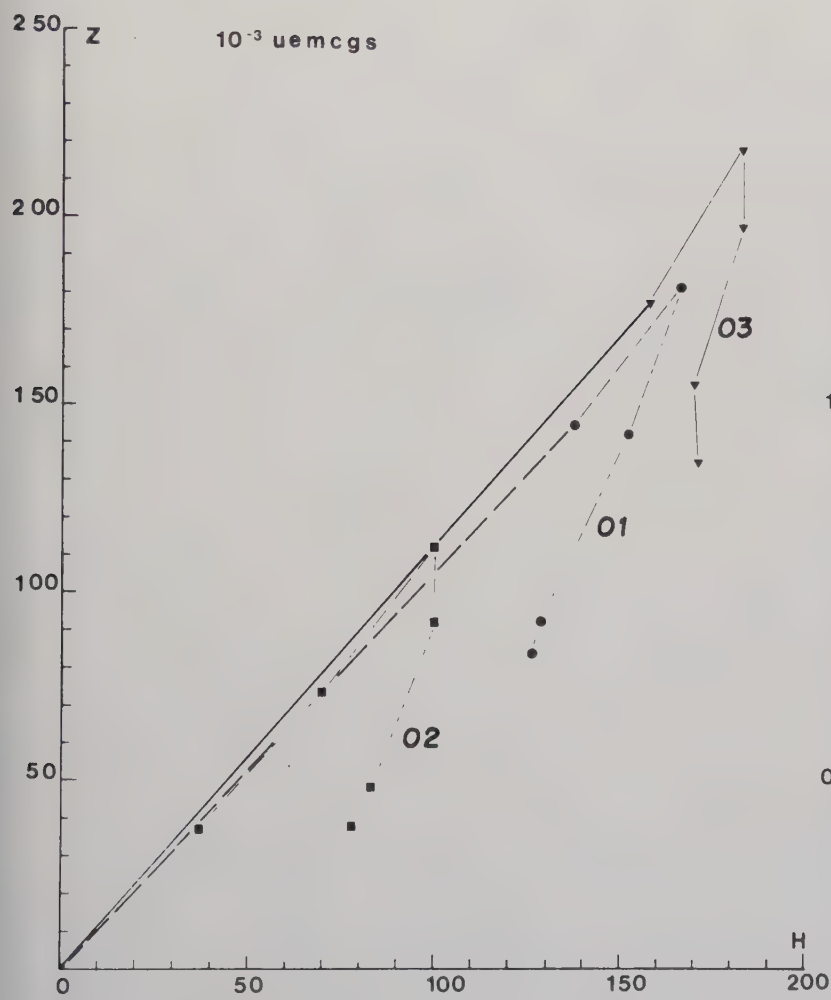
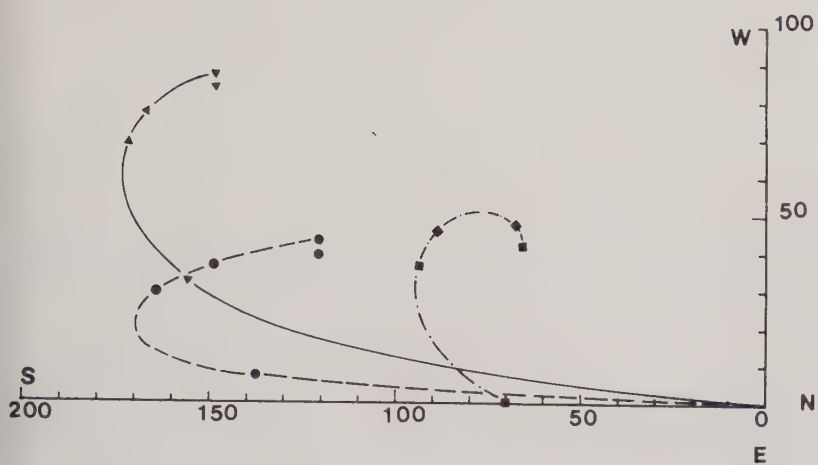


Fig. 47

Fig. 48 - Site B 1 Brèches basanitiques - Premier rem-
blaiement du Crozas.
L'ATR est altérée par une AR $\bar{I}$ dans les blocs
66 V 18 17 et 19 et une AR $\bar{Y}$ dans 66 V 18 18. Mais
l'ATR inverse est atteinte.

Site B1 - Dèves (66 V 18 - 17-18-19)

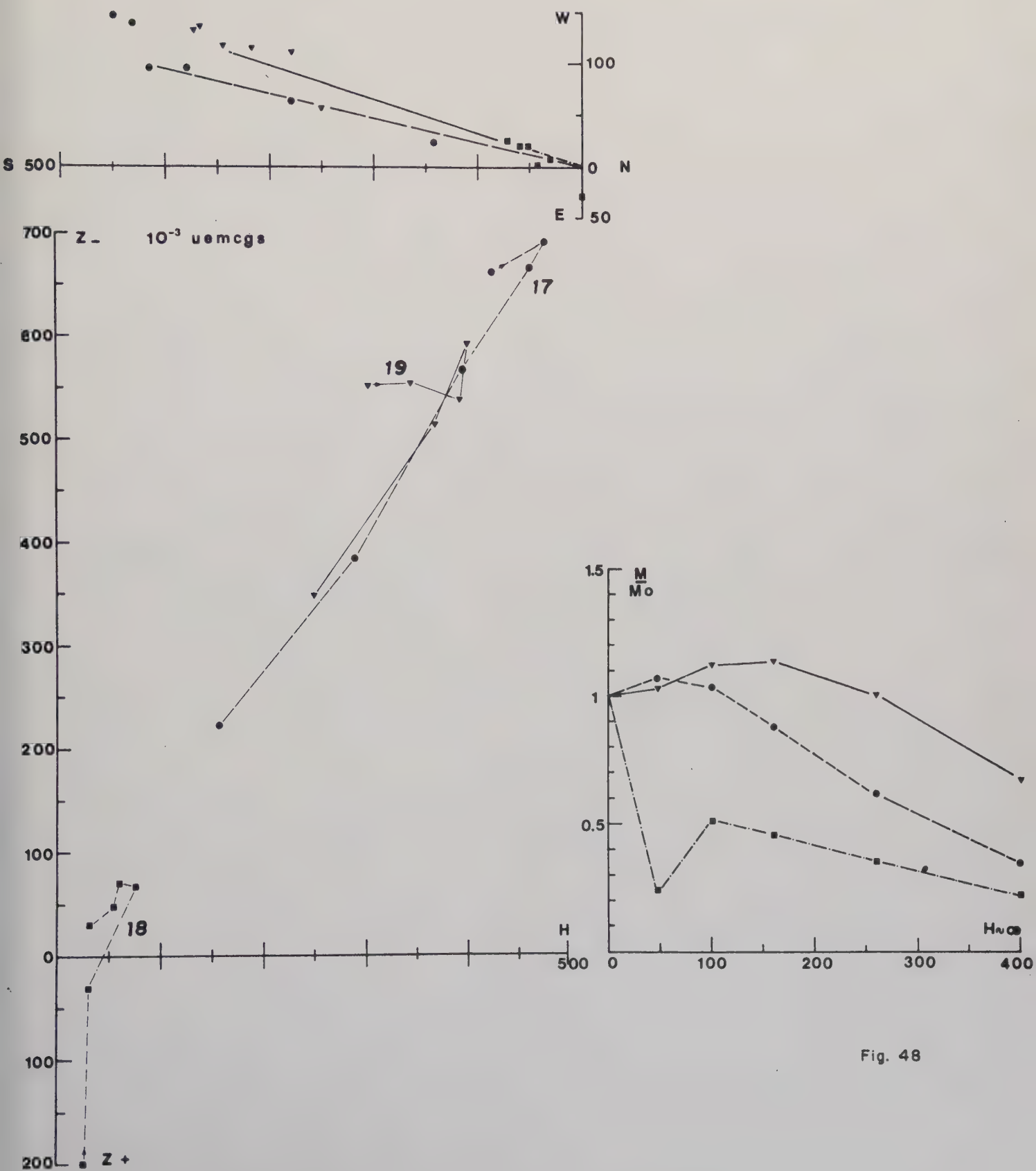


Fig. 48

Fig. 49 - Massif du Sancy.

L'échantillon 2 est porteur d'une ARI presque pure (direction constante. Ce qui permet de penser que le bloc 3 est porteur d'une ATR accompagnée d'une légère ARV. Cependant on voit que l'ARI de 2 ne masque pas totalement l'ATR la composante horizontale tendant bien vers une valeur positive. L'échantillon 1 est porteur d'une ARI plus faible que sur 2 et l'ATR est atteinte.

Site - Massif du Sancy

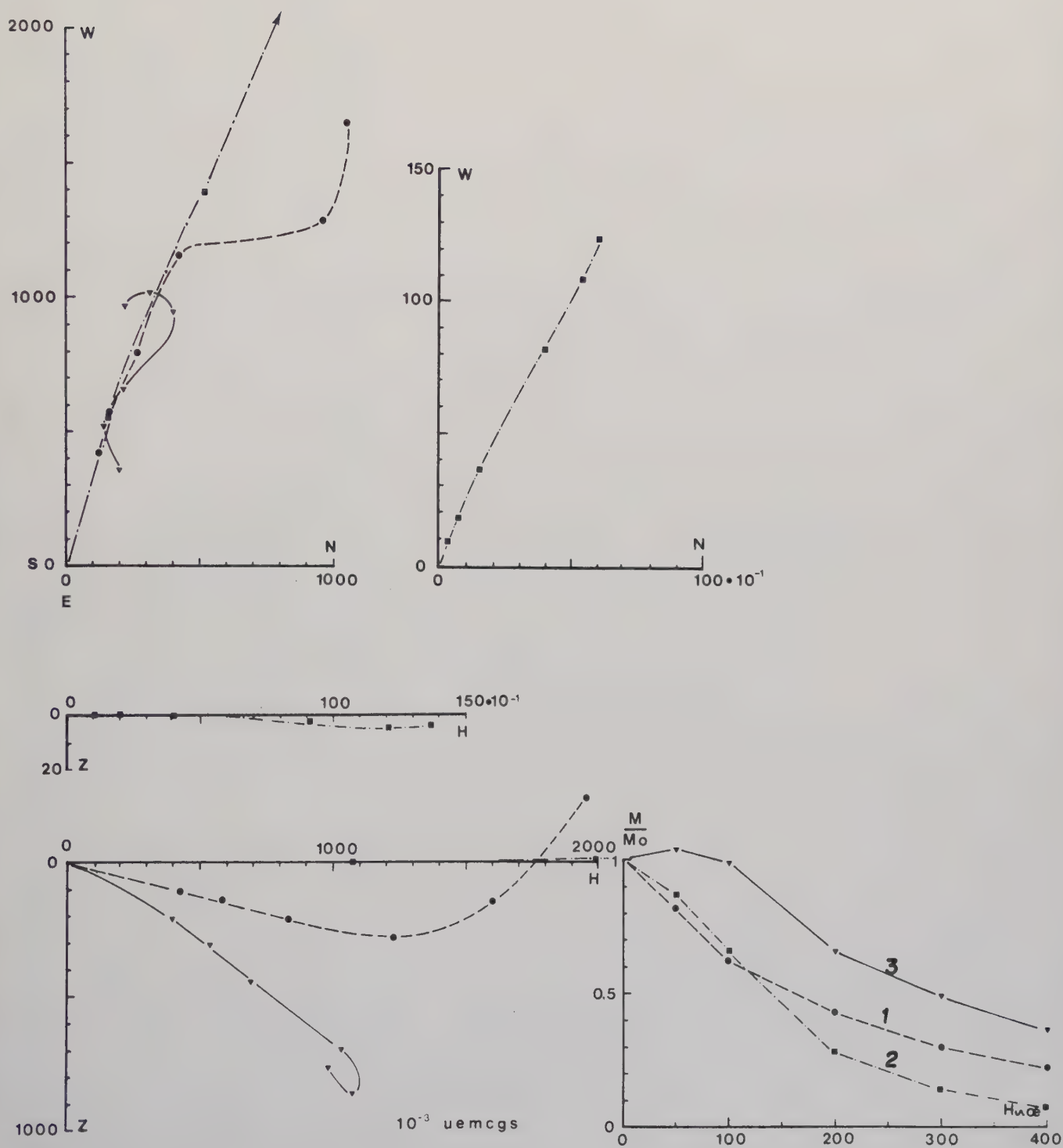


Fig. 49

Fig. 50 - Site 20 Massif de la Banne d'Ordanche. Piton de basalte du Prés Cohadon.

Bel exemple d'ARI multiples

L'échantillon 67 B0 25 03 est porteur d'une ARI mais l'ATR est atteinte pour $I_N = 2$ A.

Les échantillons 67 B0 25 02 et 67 B0 25 01 sont porteurs de deux ARI chacun. Toutefois l'ATR n'est pas totalement détruite et les directions d'aimantation tendent vers celle obtenue pour l'ATR de 67 B0 25 03 qui peut donc servir à caractériser la coulée. En ce qui concerne les caractéristiques générales de l'ATR, mais la direction de celle-ci ne sera connue que très approximativement).

Site 20 - Massif de la Banne d'Ordanche (67 B025_01_02_03)

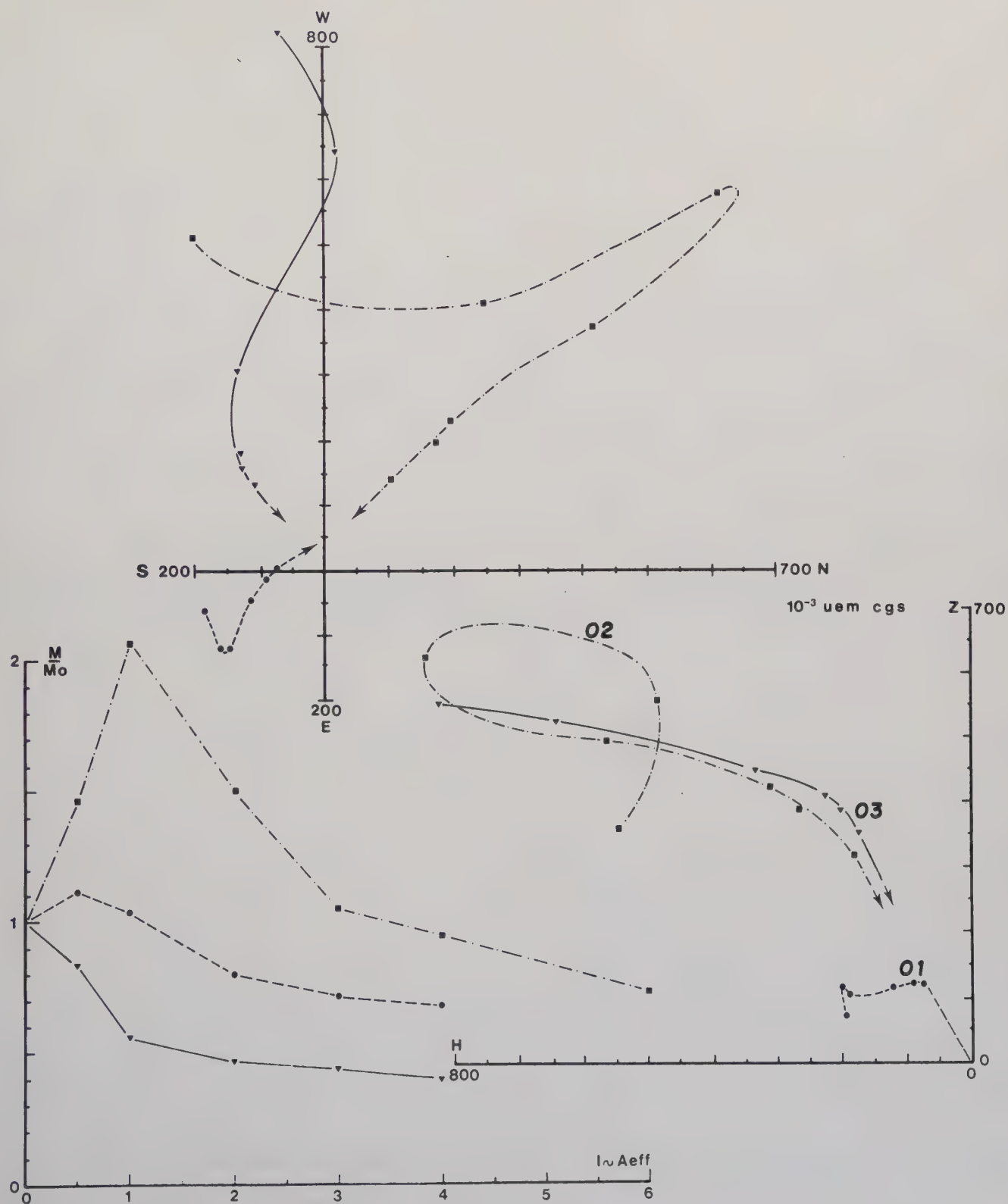


Fig. 50

Fig. 51 - Site 73 Massif du Sancy - Doreites moyennes de
Cliergues.

Exemples d'ATR douces accompagnées d'ARI légères.

Site 73 - Massif du Sancy (67 VC21-01-02-03)

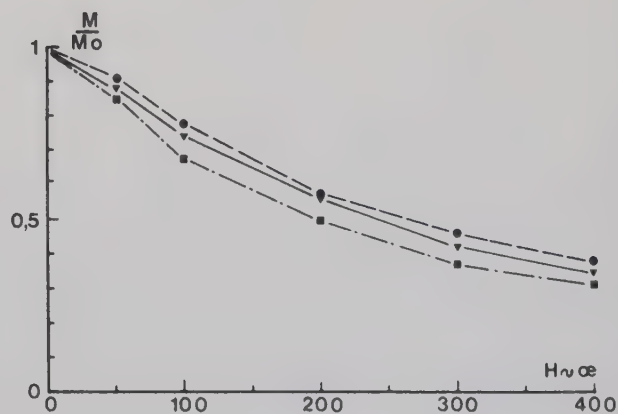
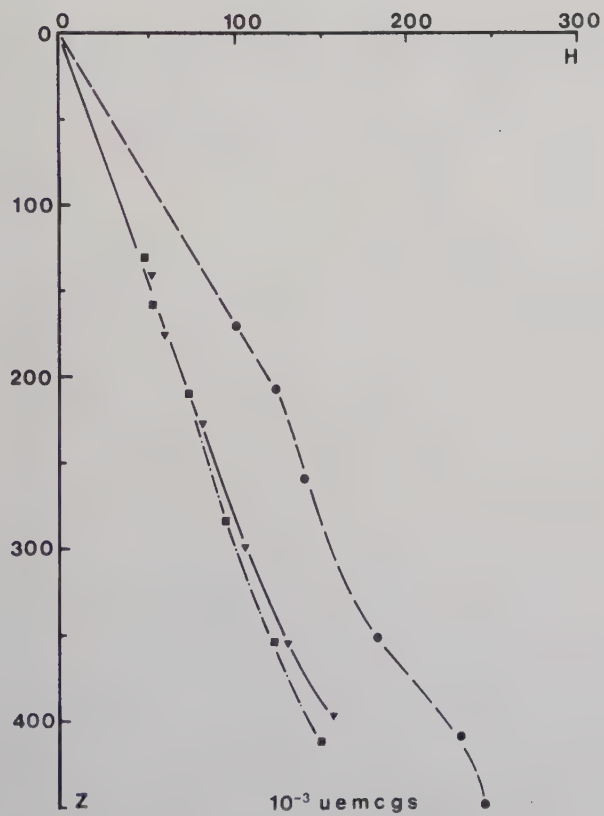
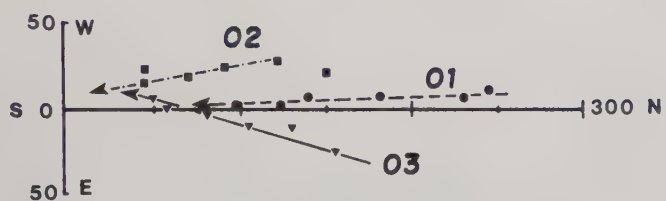


Fig. 51

Fig. 52 - Site A₂ Devès - Basalte.

L'aimantation est normale. Il semble qu'une ARV vienne se juxtaposer à une ATR douce. Toutefois une ARV dure n'est pas à exclure à priori bien que le taux de viscosité demeure **moyen** (15 à 17% pour une durée de 35 à 45 jours). Les ARA deviennent importantes pour les stades de désaimantation supérieures à 150 Oe.

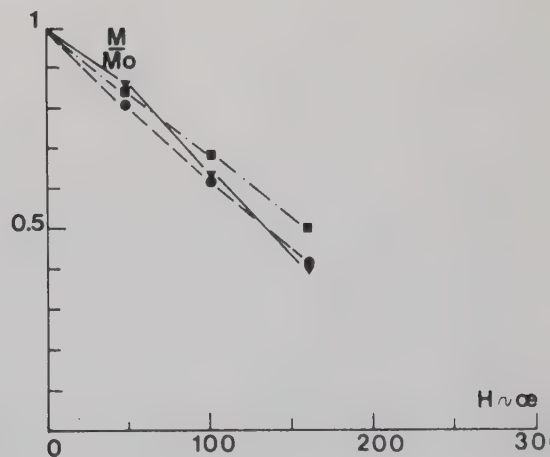
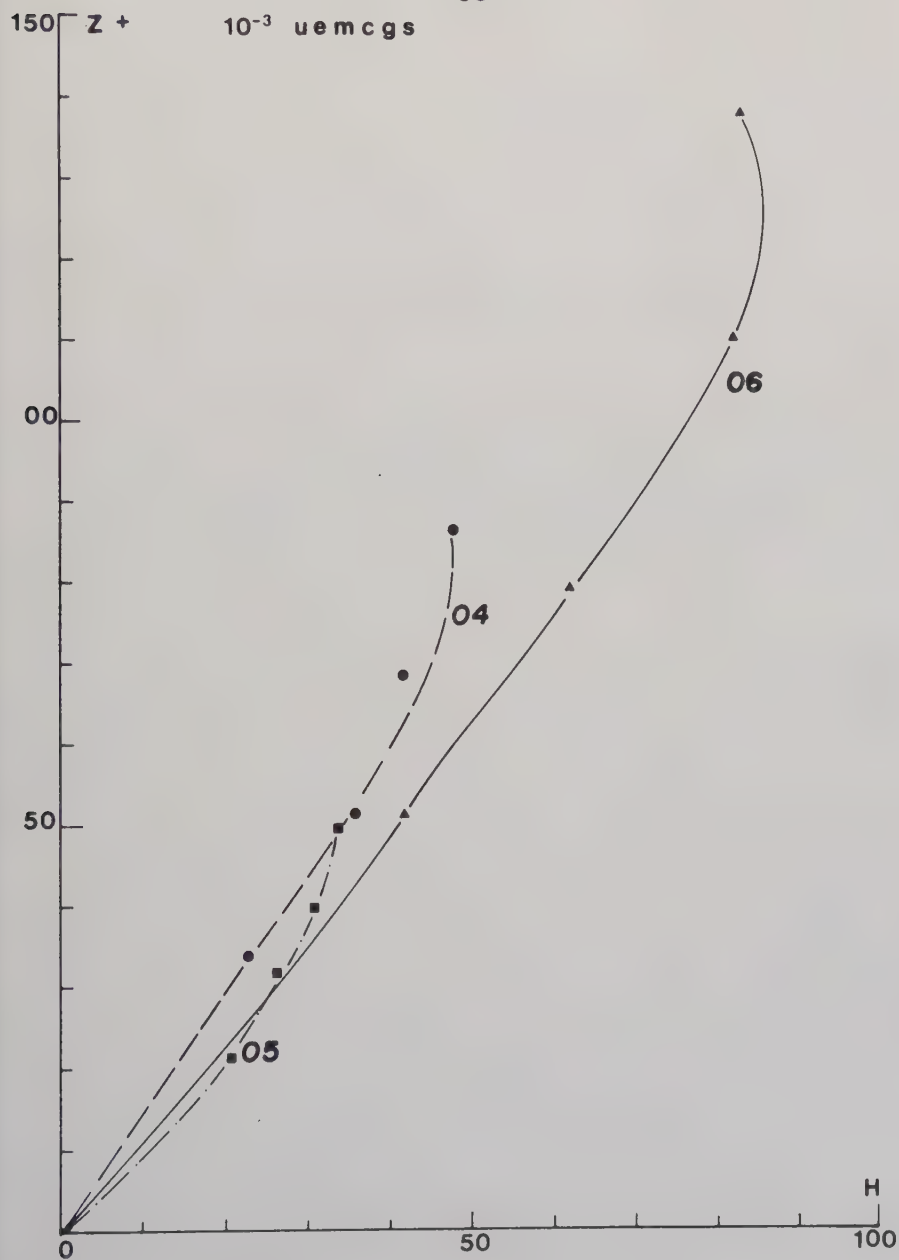
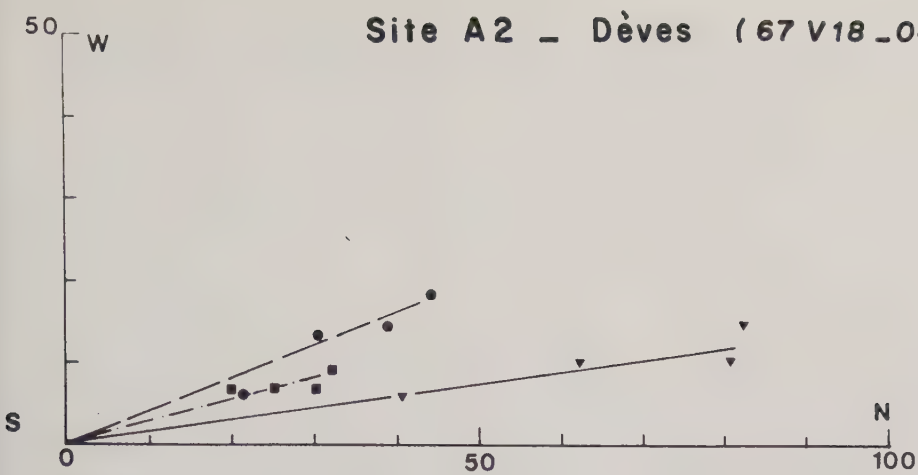


Fig. 52

Fig. 53 - Site 69 Massif du Sancy - Sancyite de la Montagne de Bozat.

Exemples d'ARI fortes masquant l'ATR qui semble atteinte que pour l'échantillon 67 Ca 22 12.

Toutefois on peut conclure que l'ATR est normale (limite commune aux trois échantillons)

Site 69 - Massif du Sancy (67 Ca 22 - 11-12-13)

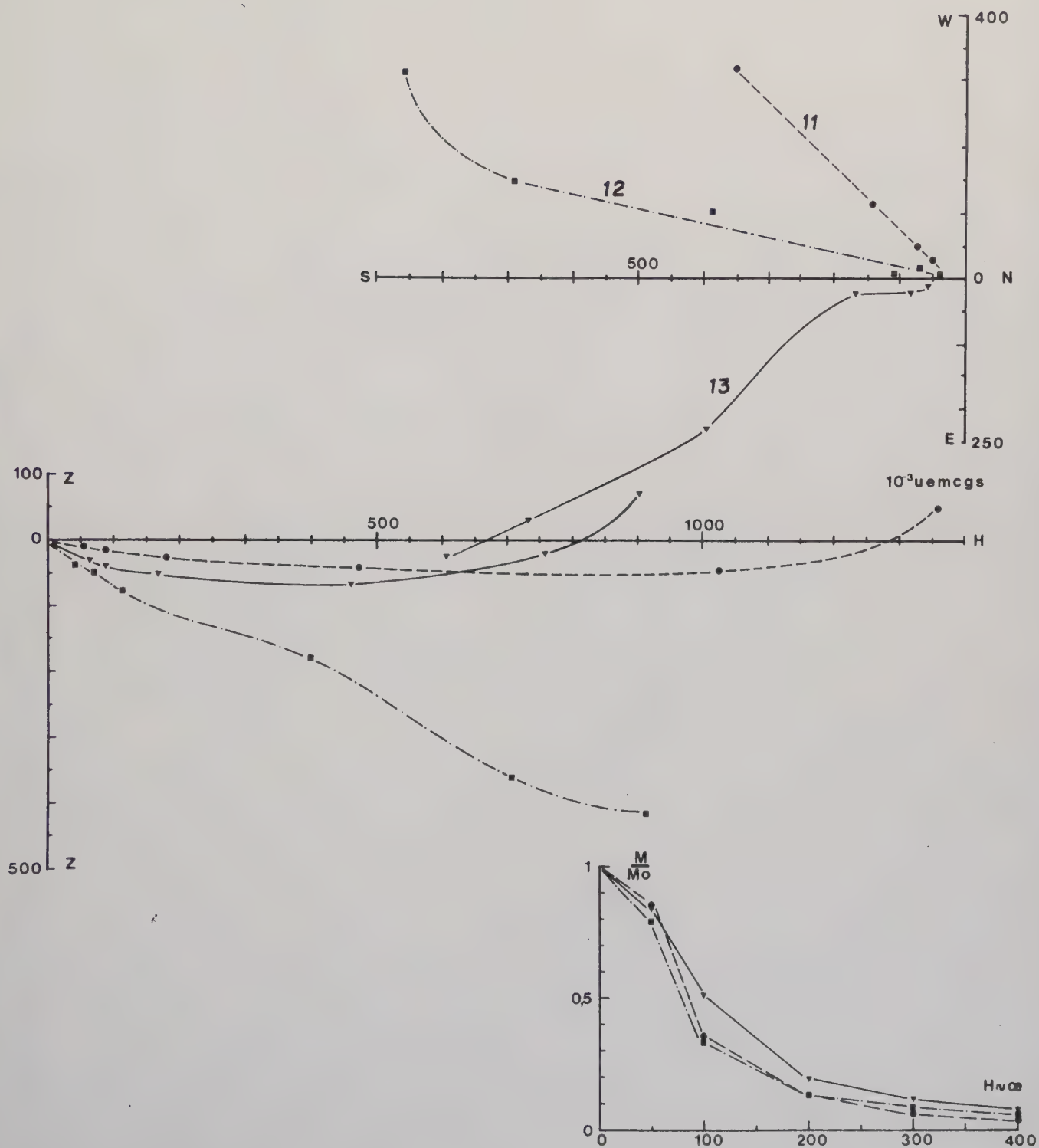


Fig. 53

Fig. 54 - Site A₅ Basalte du Plateau de Devès.

Tous les échantillons sont marqués par une ARV importante (T^x de viscosité 20 à 47% pour 30 jours).

Une direction d'aimantation inverse commune aux trois échantillons semble atteinte par le palier 250 Oe mais la direction évolue ensuite très vite. Les directions obtenues, indépendantes des trièdres de mesure excluent la présence d'ARA.

L'importance de la viscosité est telle que la totalité de l'aimantation peut-être visqueuse. Il est impossible de dégager une conclusion définitive.

Site A5 - Dêves (66 V 18 - 13-14-15-16)

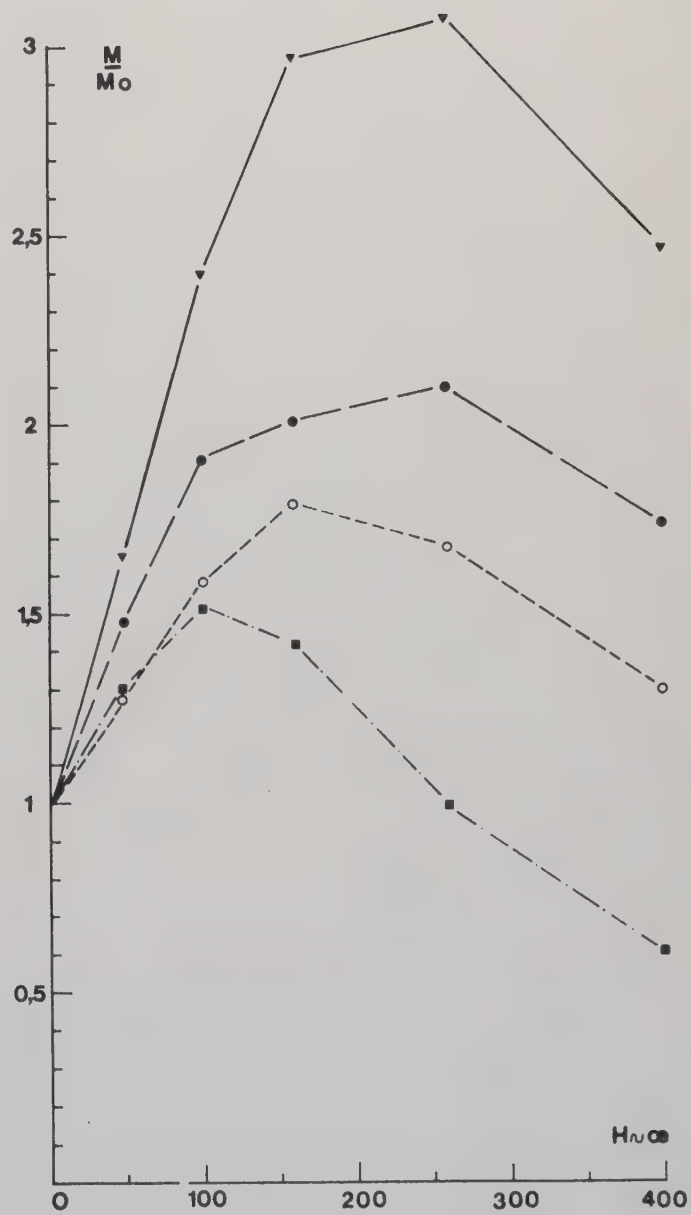
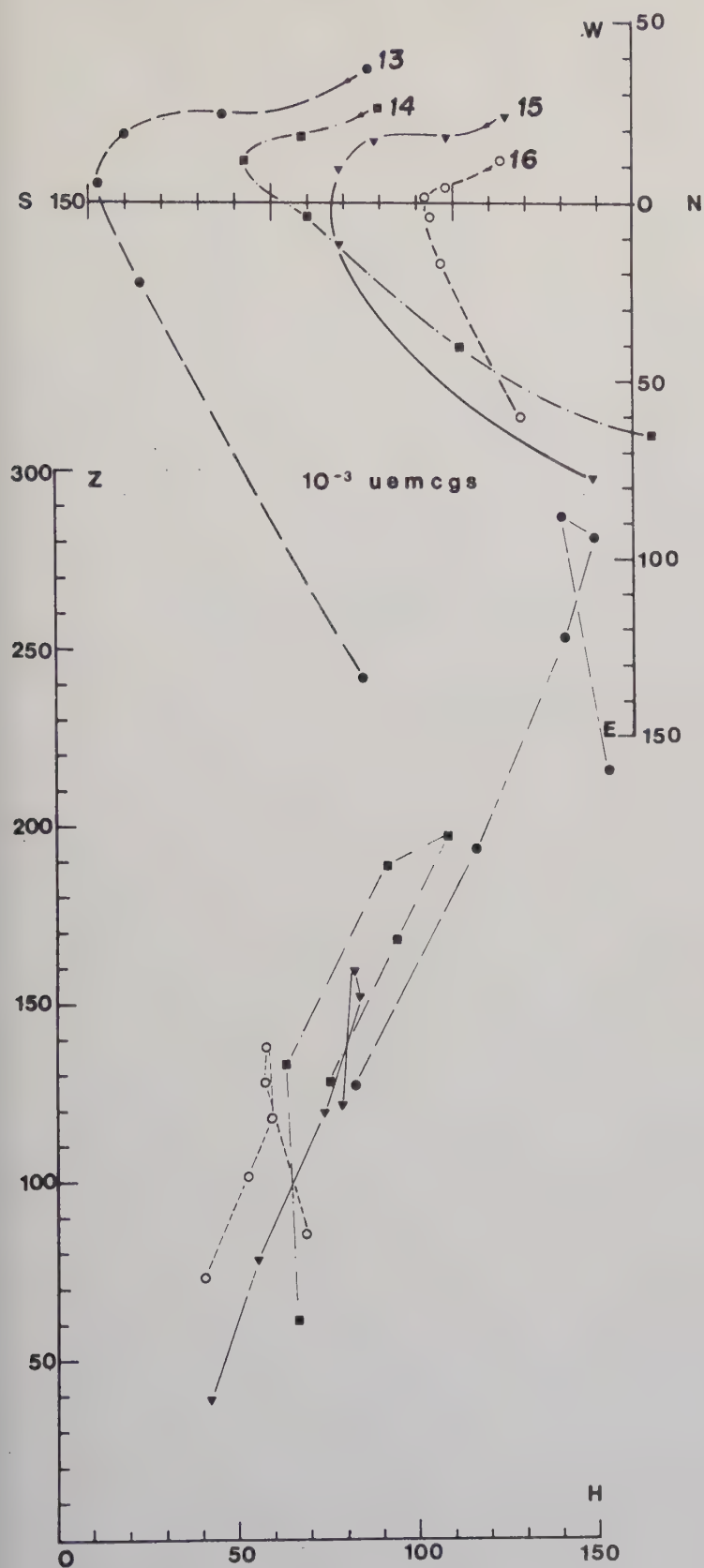
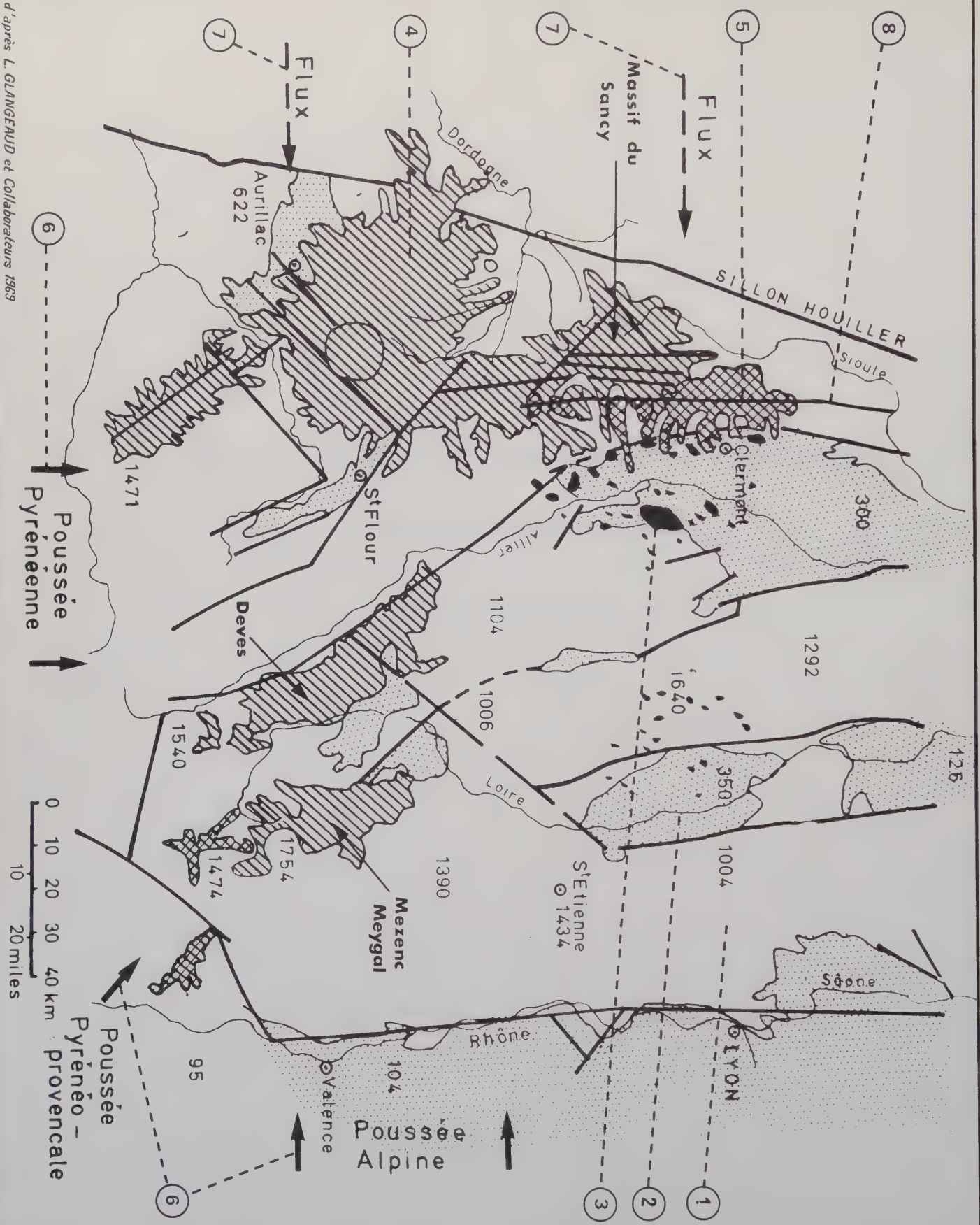


Fig. 54

CHAPITRE II.

CORRELATIONS AUX ECHELLES LOCALE, REGIONALE ET MONDIALE.

LE MASSIF CENTRAL FRANÇAIS.



- Legende Figure 55 A -

Grandes structures volcanotectoniques du Massif Central

- Figure 1 - Socle hercynien.
- 2 - Bassins oligocènes.
 - 3 - Volcanismes oligocène et miocène.
 - 4 - Volcanismes pontien, pliocène et Villafranchien.
 - 5 - Volcanismes quaternaire, moyen et supérieur.
 - 6 - Poussée d'origine méditerranéenne, africaine d'âge antépontien.
 - 7 - Flux de géondation ponto-plio-quaternaire.
 - 8 - Grandes failles.

1471 : altitudes -

- I N T R O D U C T I O N -

"Géographiquement, les volcans mio-pliocènes et quaternaires péri alpins forment une auréole grossièrement parallèle à l'arc alpin. Ils commencent dans la vallée du Rhin au Kaiserstuhl (Miocène) pour se terminer au Cap d'Ail (Mio-pliocène) près de Monaco. Dans le Massif Central, la plupart des formations volcaniques plio-quaternaires se groupent en un certain nombre de grandes unités qui s'alignent du Nord au Sud et qui sont les suivantes :

- La Chaîne des Puys,
- Le Massif du Mont-Dore,
- Le Cézallier,
- Le Massif du Cantal
- L'Aubrac,
- Le Velay,
- Le massif des Coirons "

Ces lignes extraites du livret guide écrit par L. GLANGEAUD (1969) pour une excursion organisée à l'occasion du VIII Congrès de l'I.N.Q.U.A. nous semblent être la meilleure présentation de l'ensemble des volcans du Massif Central représentés sur la figure 55 A. Il n'était pas question pour nous d'étudier l'ensemble de ce volcanisme mais nous avons essayé de réaliser une étude aussi complète que possible des séries volcaniques situées dans une bande transversale allant du Massif du Mezenc Meygal à l'Est, au Massif du Mont-Dore à l'Ouest.

Nous allons donc successivement rendre compte des résultats obtenus :

- a) Dans le Velay. Cette région regroupe les massifs volcaniques qui bordent le Bassin du Puy en Velay à savoir le Massif Mezenc Meygal à l'Est du Puy en Velay et le Massif du Devès à l'Ouest de cette ville.
- b) Dans le Massif du Mont Dore

LE VELAY

SITUATION GENERALE :

Entre Rhône et Allier s'étale, riche de paysages variés une vaste région dénommée Velay. Cette partie du Massif Central, dont le centre est le Bassin du Puy en Velay, correspond à la partie supérieure du bassin hydrographique de la Loire. Pour les commodités de notre exposé nous allons dès maintenant définir les unités morphologiques et structurales qui la constituent (Fig. 55Bis)

) A l'Ouest se développe un plateau surbaissé que nous appellerons le massif du Devès (il est parfois aussi appelé Massif du Velay). Il est constitué par un empilement de coulées basaltiques effusives. Ces coulées se sont épanchées à partir de bouches alignées suivant un axe principal orienté SE - NW correspondant à un grand accident du socle. Cette fracture est encore jalonnée de cônes de scories de type strombolien dont certains présentent une morphologie très jeune.

Nous verrons que les coulées qui se sont dirigées vers l'Ouest, comblant un réseau hydrographique fossile très marqué, ont atteint la vallée de l'Allier où elles affleurent en divers points, quelques mètres seulement au dessus du niveau de la rivière actuelle. Ceci est particulièrement net entre Monistrol d'Allier et Langeac (Photo 5).

A l'Est, au contraire, les coulées se sont empilées pour former un plateau où l'érosion a dégagé les falaises qui surplombent le bassin du Puy (Photo 6). Nous verrons que le Devès est essentiellement constitué de coulées d'âge villafranchien.

) La limite orientale du Velay est constituée par ce que nous désignerons sous le terme de "Complexe volcanique du Mézenc-Meygal" caractérisé par la présence d'une grande quantité



Photo n° 5 : Bordure occidentale du Devès.
Coulée de basalte du Devès dans la Vallée de l'Allier.



Photo n° 6 : Bordure oriental du Devès vers la vallée du Dolaizo

- A - Rive gauche le plateau de la Roche.
- B - Coulées basaltiques supérieures.
- C - Rive droite le Plateau d'Eycenae.
- D - Nappe de brèches basanitiques.

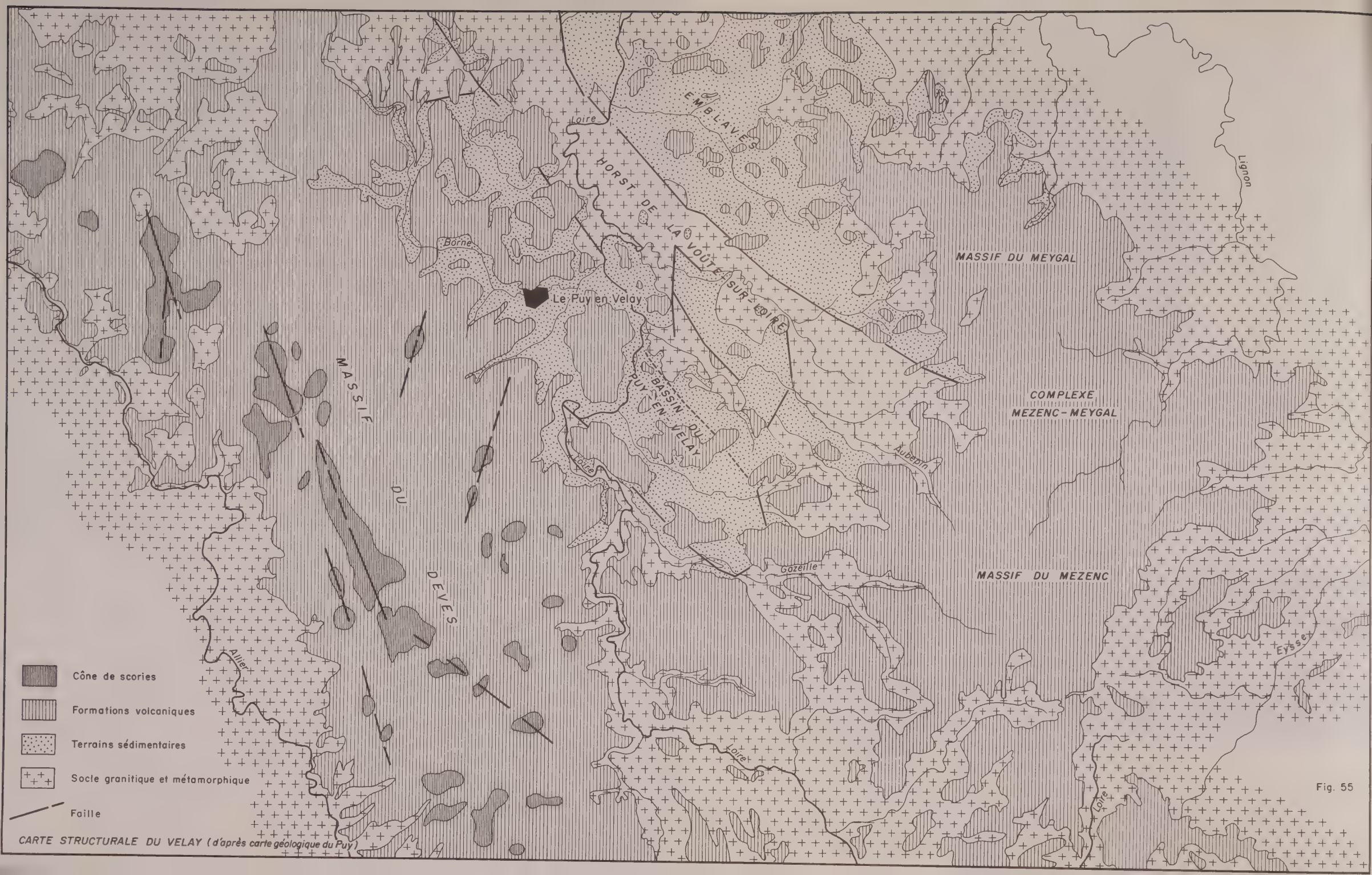


Fig. 55

CARTE STRUCTURALE DU VELAY (d'après carte géologique du Puy)

d'aiguilles, de dômes, de dômes coulées voire de coulées de phonolites. C'est la zone des sucs du Velay bien connue de tous les géologues.

Sa terminaison méridionale centrée autour du point culminant du Velay, correspond au Massif du Mézenc au sens strict. Ce massif est situé à la limite du bassin hydrographique de la Loire et du Rhône. Il est formé de laves allant des basaltes aux phonolites en passant par les trachytes et les trachyphonolites. C'est l'ensemble pétrographique le plus complexe que l'on puisse rencontrer dans le Velay.

La partie septentrionale du complexe Mezenc-Meygal est constituée par ce que nous appelons le massif du Meygal-Lizieux. Nous y retrouverons les mêmes éléments que dans le massif du Mézenc mais en quantité beaucoup plus réduite.

) Entre massif du Devès et complexe du Mézenc-Meygal nous trouvons une zone de bassins sédimentaires tertiaires situés dans des grabens séparés par des horsts d'orientation générale Sud-Est Nord-Ouest, approximativement parallèles au grand accident qui a livré passage aux laves du Devès. La couverture sédimentaire recouvrait vraisemblablement à la fin de l'Oligocène, une aire très développée s'étendant depuis la région du Monastier au Sud jusqu'à la région de Vorey-sur-Arzon au Nord comme en témoignent les lambeaux sédimentaires rencontrés sur les horsts. Postérieurement cette couverture a été subdivisée, par le jeu des anciennes failles et l'apparition de nouvelles fractures, en deux secteurs.

- Au Sud-Est le bassin du Puy proprement dit résultant de la coalescence de grabens secondaires.

- Au Nord-Est le bassin de l'Emblaves. Bassin du Puy et Emblaves sont séparés par le horst granitique de Lavoûte-Peyredeysres où la Loire s'est surimposée depuis le Villafranchien formant des gorges et des méandres pittoresques.

) Enfin, au Nord de Vorez-sur-Arzon, on rencontre une série de petits bassins secondaires et en particulier le bassin de Monistrol-sur-Loire qui assure la liaison entre l'Emblaves et la plaine de Montbrison que nous avons étudiée antérieurement (C. BOBIER, 1960).

RAPPEL HISTORIQUE.

Dans tout ce qui va suivre nous passerons très rapidement sur tout ce qui concerne les travaux géologiques relatifs au socle granitique, voire même aux sédiments des bassins du Puy et de l'Emblaves. En effet, notre exposé se limitera essentiellement à l'analyse des formations volcaniques proprement dites. Nous ne citerons ici que les auteurs principaux.

Très tôt le Velay attira l'attention des géologues et dès 1823 Bertrand DEDOUÉ, publiait une première synthèse géologique du bassin du Puy. 1880 vit la parution de la première carte géologique. Elle était le résultat des recherches que TOURNAIRE avait conduites dans la région depuis 1869. Elle marque l'aurore de l'époque florissante pour l'étude du volcanisme du Velay, époque marquée par les travaux de P. TERMIER (1890) et M. BOULE (1893). La Société Géologique organisa une excursion dans la région en 1885. La thèse de BOULE publiée en 1893 sous le titre "Description géologique du Velay" marqua l'apogée de cette période faste. En effet, à la suite de ce travail, on ne notera, pendant près de 40 ans, que quelques interventions de détails et il faudra attendre les travaux de P. BOUT pour que le Velay reprenne de l'importance dans la littérature géologique. Il faut dire que l'oeuvre de M. BOULE est d'une telle richesse, d'une telle rigueur, qu'elle était bien faite pour décourager tous les essais. Il nous a été maintes fois donné de vérifier sur le terrain la valeur des observations de ce Maître. Il était nécessaire que de nouvelles techniques soient mises à la disposition des géologues pour que l'on

puisse revenir sur ces conclusions de façon décisive. Et c'est à P. BOUT que revient le mérite d'avoir, le premier, tenté ce travail, dès 1949. Il a pu ainsi montrer en 1960, l'existence de deux phases de remblaiement* dans le bassin du Puy et souligner la parenté de cette zone avec celle de la haute vallée de l'Allier. C'est encore à cet auteur que nous devons une très intéressante comparaison entre le massif des Coirons et le cirque des Boutières entaillé dans le flanc oriental du Massif du Mézenc. (P. BOUT, 1966).

Disposant des techniques paléomagnétiques que nous avons expérimentées entre 1958 et 1960 dans le Forez, il nous a paru utile, dès 1962, de reprendre l'étude des laves du Velay en utilisant la mesure de l'aimantation des roches pour tenter de revoir l'évolution de cette zone. L'ensemble des résultats acquis nous permet d'esquisser maintenant une nouvelle synthèse de l'évolution de l'ensemble velave. Dans tout ce qui va suivre nous comparerons nos résultats (aimantation des roches) avec les observations si précises de nos prédécesseurs, nous contentant d'apporter quelques observations personnelles quand elles nous paraîtront nécessaires. Nous utiliserons aussi les résultats obtenus par de jeunes chercheurs (M. PREVOT, et M. MACLE) qui ont travaillé avec nous dans le cadre des recherches que nous avons entreprises.

En effet devant l'ampleur du travail engagé sous la direction de Monsieur le Professeur GLANGEAUD, il nous a paru utile de mener le programme de recherche de la façon suivante :

tandis que mes jeunes camarades de l'E.N.S. de Saint-Cloud faisaient porter leurs efforts sur des zones limitées (Massif du Mézenc pour M. PREVOT, Massif du Meygal pour M. MACLE) j'ai personnellement, d'une part, assuré l'étude de la zone intermédiaire et les corrélations à l'échelle de l'ensemble du complexe Meygal-Mézenc et, d'autre part, effectué une coupe systématique au travers du massif du Devès. Notre exposé comportera ainsi les chapitres suivants :

* Il s'agit de phases de comblement des dépressions par des dépôts lacustres.

A - Le complexe MEZENC - MEYGAL.

- I - Le versant oriental de l'ensemble Meygal-Mézenc.
- II - Le versant occidental de l'ensemble Meygal-Mézenc.
- III - Essai de chronologie relative.

B - Le Massif du Devès

C - Comparaison. Essai de synthèse sur l'évolution du volcanisme du Velay.

A - LE COMPLEXE MEZENC - MEYGAL.

I) LE VERSANT ORIENTAL DU COMPLEXE MEZENC-MEYGAL

1) Rochers de Cuzet (Fig. 55 C) Le Sud-Est de la Montagne de Chaulet.

L'éperon rocheux qui constitue le rocher de Cuzet est relativement complexe. M. PREVOT (1963-1965) en a repris l'étude géologique et paléomagnétique. Nous résumerons ici ses conclusions dont nous avons pu vérifier la validité durant les courses que nous avons faites avec lui sur le terrain et en particulier lors d'une tournée de plusieurs jours que nous avons pu effectuer dans cette région, en Août 1963, sous la direction de Monsieur le Professeur GLANGEAUD et en compagnie de nos amis A. RIBEIRO et P. GUARDIA.

a) Flanc Sud

Il est entaillé très largement par un affluent de l'Eysse. Grâce à cette entaille naturelle une magnifique coupe a pu être observée (fig. 56 A).

- Dans sa partie occidentale (Fig. 56 B coupe 1b) la série débute entre les hameaux de la Borne et de Cayères par une série d'alluvions fluviatiles, épaisse de quelques mètres, surmontée par une coulée basaltique. Cet ensemble comble une ancienne dépression dont la ligne de pente semble orientée vers le Nord-Ouest. Viennent ensuite des tufs inférieurs dans lesquels s'intercalent des coulées massives.

Pour BOULE il s'agit de labradorites et d'andési-labradorites caractées α' , λ' et $\alpha\lambda'$. Nous utiliserons ces vocables bien que l'expérience nous ait montré qu'il ne fallait pas leur attacher trop d'importance stratigraphique. Nous reviendrons d'ailleurs,

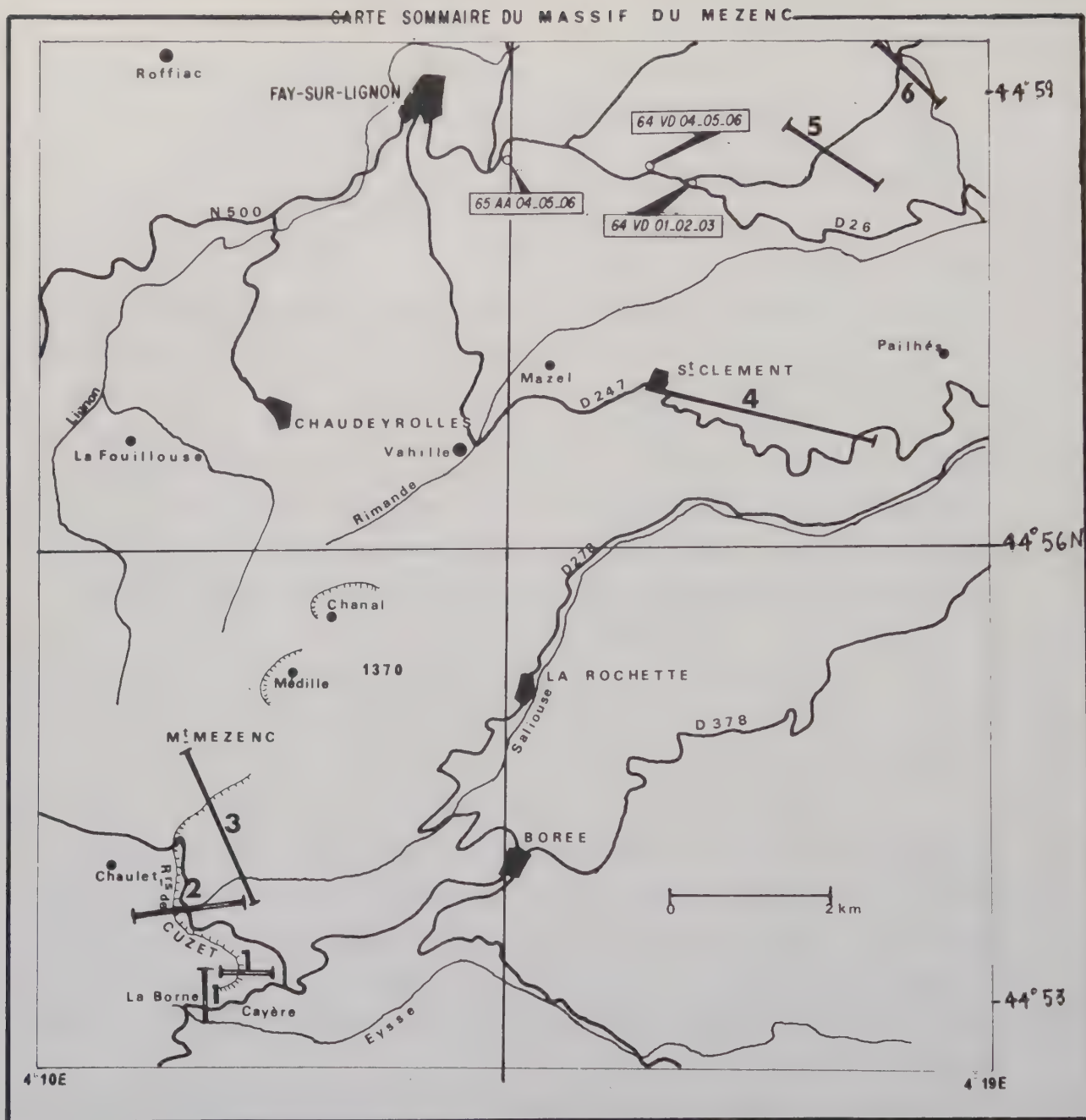


Fig. 55 C - Position des Coupes paléomagnétiques dans le Massif du Mezenc.

- 1) - Flanc Sud et Sud Est des Rochers de Cuzet.
- 2) - Flanc Est des Rochers de Cuzet.
(Coupe P. M. PREVOT)
- 3) - Flanc Sud Est du Mezenc
(Coupe M de M. PREVOT)
- 4) - Série de Saint Clément.
- 5) - Série du Clauzelle
- 6) - Série du Crouzet

[illegible]

3

dans la conclusion de ce chapitre, sur cette nomenclature (*). Ce complexe inférieur est surmonté par des tufs supérieurs T_2 recouverts à l'aplomb du hameau de la Borne par une épaisse coulée de basaltes à phénocristaux d'augite cartée β_a à laquelle succèdent une coulée de trachy-andésites cartée T_a puis des phonolites cartées φ_o . (Fig. 56 B coupe 1a).

- A l'Est à l'aplomb du hameau de Goudet, la série (fig. 56 coupe 2d)** qui débute par une coulée basaltique reposant directement sur le granite à 1350 m, comporte des tufs peu visibles à l'affleurement dans lesquels s'intercalent des coulées d'andési-labradorites. La série est ici couronnée par des trachytes cartés T_a recouverts par un lambeau de coulées basaltiques. Ces deux coulées viennent au contact des tufs supérieurs T_2 de la coupe précédente.

L'existence d'un décalage entre les contacts de base des deux séries a conduit M. PREVOT à admettre l'existence d'une faille sous la montagne de Chaulet.

D'après les données de M. PREVOT, nous avons reconstitué sur la figure (56c, etc) la stratigraphie paléomagnétique. La comparaison des trois séries nous permet d'envisager deux hypothèses de travail :

1ère hypothèse : avec M. PREVOT nous pouvons considérer que le spectre des inversions du champ géomagnétique enregistré

* P. MERGOIL, Maître Assistant à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, a entrepris l'étude détaillée de la pétrographie des laves du Velay, c'est pourquoi nous ne rentrerons pas dans le détail des analyses pétrographiques, notre but demeurant de montrer l'apport du Paléomagnétisme dans les études de chronologie en pays volcanique.

** légende page 162

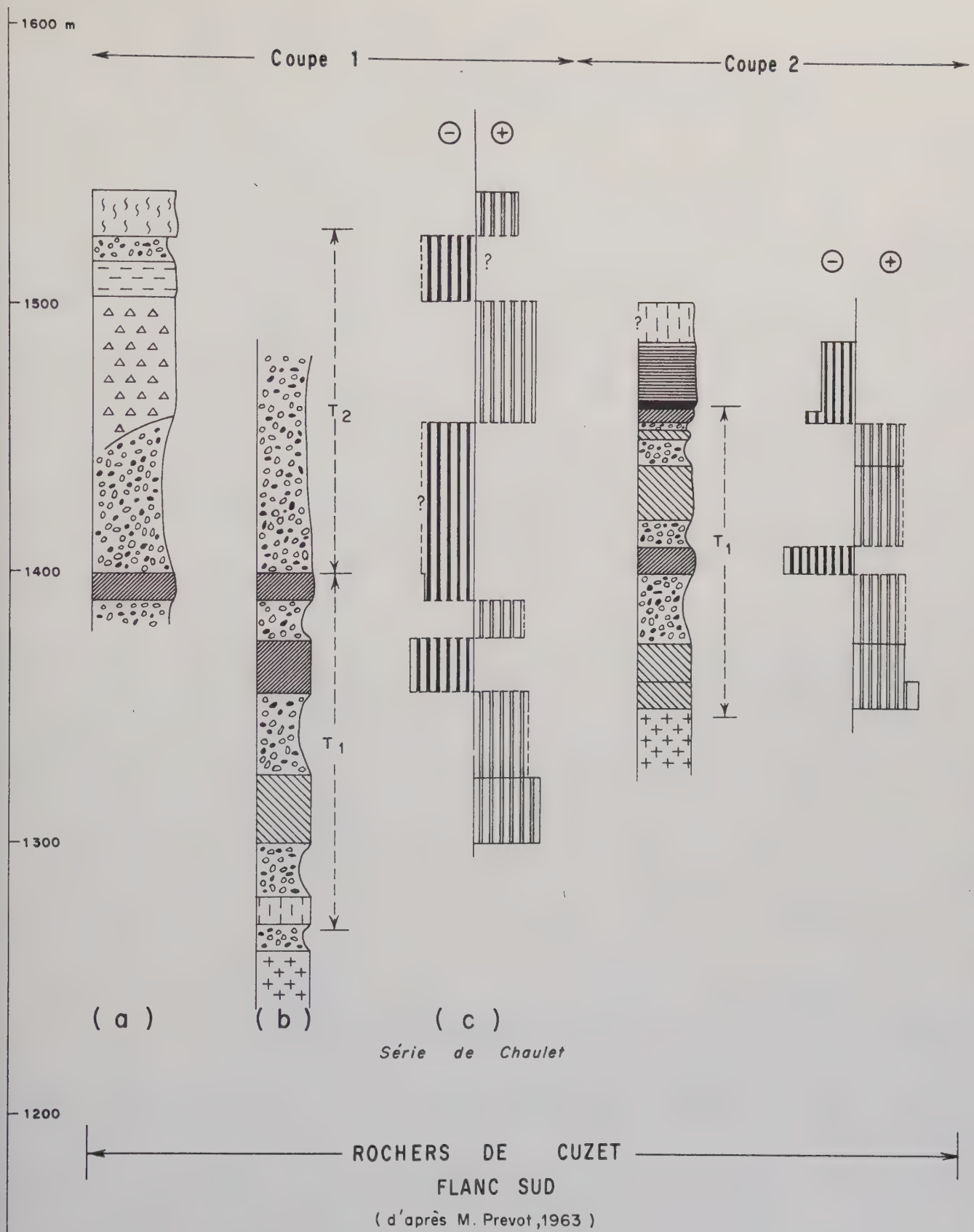


Fig. 56

LEGENDE DES COUPES STRATIGRAPHIQUES ET PALEOMAGNETIQUES

EFFECTUEES DANS LE MASSIF DU MEZENC

Figures : 56 B - 58 - 59 - 61 - 65 - 66 - 68 - 72 - 74 - 75 -
82 - 83 - 84 - 87 - 88 - 92 - 93 - 94 - 97 - 100 -
103 - 104 - 105 - 110 - 112 - 113 - 115 A, B, C.

Chaque coupe est synthétisée par deux schémas :

- à droite, une coupe paléomagnétique. Le signe + signifie aimantation normale, le signe - aimantation inverse. L'amplitude du figuré à droite ou à gauche traduit l'amplitude de l'inclinaison.
- à gauche, un log résumant les données pétrographiques et paléomagnétiques. La signification des figurés réunis sur la figure 57 est la suivante :

$\beta'a$	-	Basalte porphyroïde	à aimantation inverse.
$\beta'a$	+	Basalte	" " " normale.
$\alpha' \lambda'$	-	Andésilabradorite	" " " inverse.
$\alpha' \lambda'$	+	"	" " " normale.
$\beta'b$	-	Basalte compact	" " " inverse.
$\beta'b$	+	"	" " " normale.
τ'	-	Trachyte	" " " inverse.
τ'	+	"	" " " normale.
ϕ^o	-	Phonolite	" " " inverse.
ϕ^o	+	"	" " " normale.
β^o	-	Basalte semi porphyroïde	" " " inverse.
β^o	+	"	" " " normale.
lignite et Argiles rouges.			
Oligocène	-	Arkoses et Argiles vertes sammoisiennes et stampiennes.	
γ	-	granite.	
β	-	Basalte compact inférieur	à aimantation inverse.
β	+	"	" " " normale.
β et γ de			
signe inconnu	-	Roches basiques	dont le sens de l'aimantation n'est pas connue.
ϕ de	-	Phonolite	dont le sens de l'aimantation n'est pas connue.
signe inconnu	-	Trachyte	dont le sens de l'aimantation n'est pas connue.
τ de	-		
signe inconnu	-		

Cette légende est reproduite en feuillets mobiles pour faciliter la lecture des figures ultérieures.

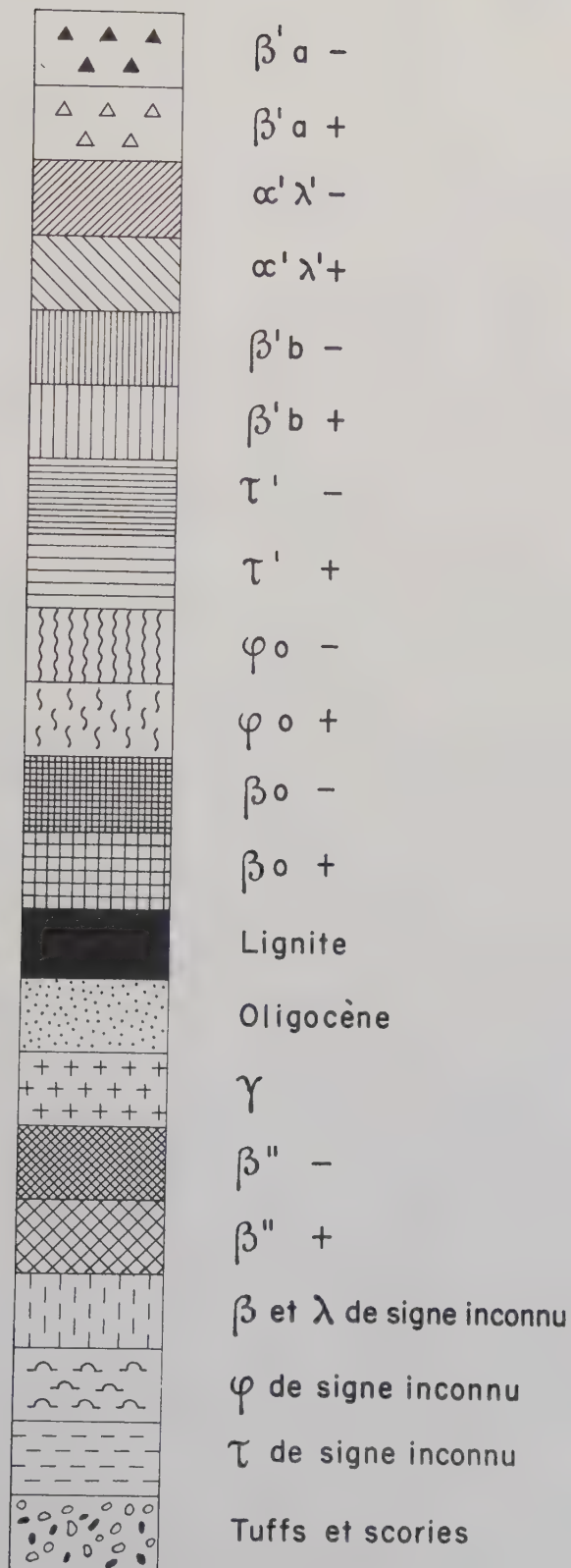


Fig. 57

est le suivant : (Les échantillons correspondent à ceux de la fig.56A)

- 1) Série à aimantation normale : échantillons C₁ (+75°, 16°W) C₂ (+69°, 7°W) C₃ (+77°, 38°E) et C₁₁ (+55°, 10°W)
C₁₂ (+47°, 10°E) C₁₃ (+39°, 1°30E)
- 2) Série à aimantation inverse : échantillons C₁₄ (-39°, 175°30W) C₁₅ (-50°, 170°30E) C₁₆ (-50°, 175°W) C₁₇ (-53°, 177°W) C₁₈ (-59°30, 162°W) C₃₇ (-59°, 169°W) et C₂₀ (-67°, 169°W)
- 3) Série à aimantation normale : échantillons C₂₁ (+43°, 40°W) C₁₀ (+60°, 33°W) et C₂₄ (+56°, 121°W)
- 4) Série à aimantation inverse : Echantillon C₂₂ (-45°, 177°W) et T¹ a.
- 5) Série à aimantation normale correspondant aux phonolites terminales (éch. C₆₋₈)

2ème hypothèse : Si l'on compare la direction de l'aimantation des échantillons C₁₄₋₁₇ et C₂₂ on est frappé par la similitude des inclinaisons et des déclinaisons. On peut donc envisager, étant donnée la proximité des sites de prélèvement et la nature pétrographique comparable des roches, que les deux coulées sont contemporaines.

La faille définie par M. PREVOT aurait ainsi décalé les coulées de près de 70 m. Ce décalage est possible si l'on considère que le socle est, quant à lui, décalé de près de 90 m.

De même la comparaison des aimantations des échantillons C₁₈₋₁₉ et C₂₀ nous conduit alors à envisager que ces formations sont aussi contemporaines (le décalage serait ici de l'ordre de 50 m). Si cela est vrai la série stratigraphique serait la suivante :

- niveau 1 à aimantation normale : éch. C₍₁₋₃₎ et C₍₁₁₋₁₃₎
- niveau 2 à aimantation inverse : éch. C₁₈ C₃₇ et C₂₀
- niveau 3 à aimantation normale : éch. C₂₁ et C₁₀
- niveau 4 à aimantation inverse : éch. C₂₂ et C₁₄ à C₁₇

Trachytes inférieurs de Goudet.

- niveau 5 à aimantation normale : éch. C_{24} β'_a
- niveau 6 à aimantation inverse :
- niveau 7 à aimantation normale : éch. $C_{(6-8)}$
(phonolite terminale).

Les tufs supérieurs correspondraient à une activité volcanique postérieure au niveau 4 et le Trachyte de Goudet serait contemporain de la base de ces tufs T_2 .

Le basalte porphyroïde β'_a semble occuper une dépression creusée au flanc du volcan ancien après la mise en place des tufs T_2 . Une phase de repos avec érosion a dû précéder la mise en place de basalte porphyroïdes et surtout l'émission des trachyphonolites supérieurs. Nous aurions ainsi trois épisodes successifs dans l'activité volcanique. Nous allons voir que les résultats obtenus sur le flanc Nord renforcent cette hypothèse.

b) Flanc Nord (Fig. 55 C) Nord de la Montagne de Chaulet.

Il est très visible grâce aux profondes entailles laissées par l'érosion glaciaire au niveau du cirque des Boutières. L'une des coupes effectuées par M. PREVOT, série P, nous a permis de réaliser la série synthétisée sur la figure 58*. En effet, en pays volcanique, il est souvent difficile de définir une série de type et la figure 58 ne saurait, en aucun cas, prétendre en être une. Elle n'a pour but que de rassembler l'ensemble des données collectées dans un petit espace pour établir le spectre des variations du champ magnétique observé dans une zone particulière.

c) Comparaison des résultats

1) Tenant compte du fait que la faille qui se situe entre les coupes 1b et 2 de la figure 56 se prolonge sous la montagne de Chaulet, on peut considérer qu'il y a passage

* légende page 162.

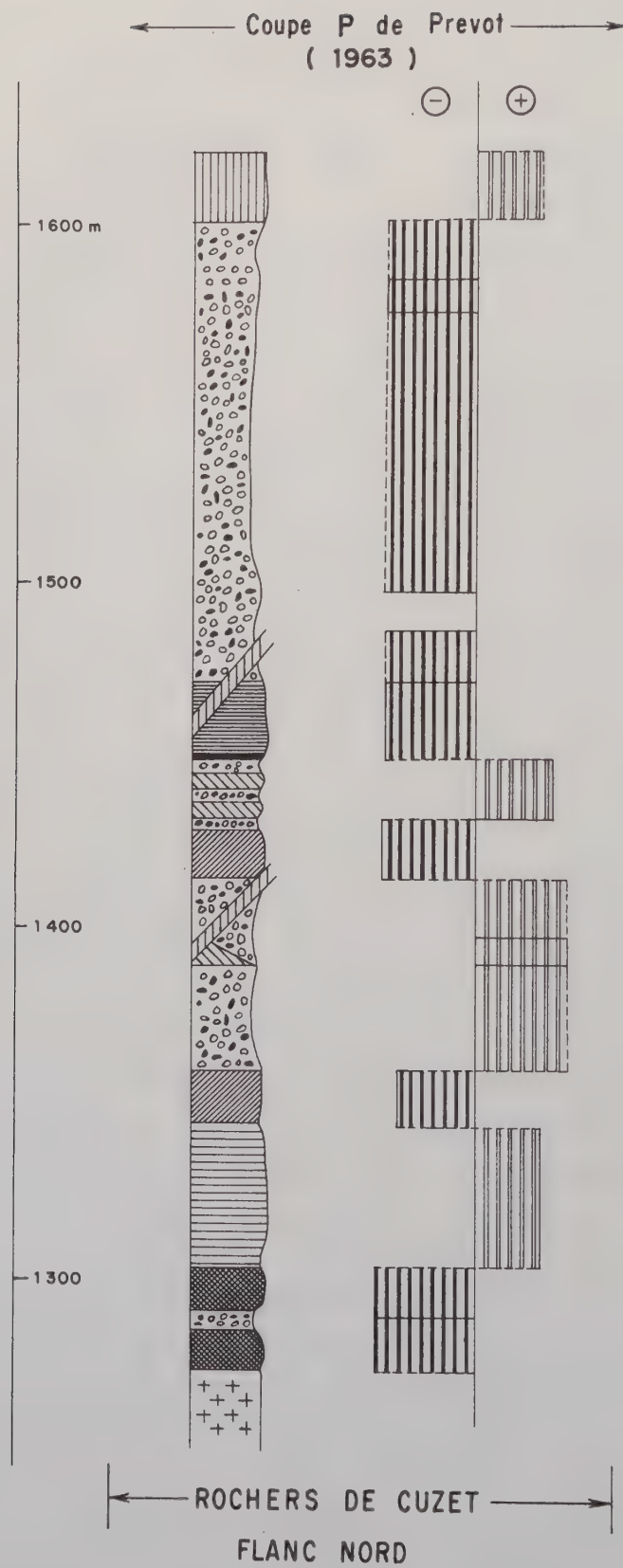


Fig. 58

latéral entre les coupes 56-2d et 58 et tenter de les comparer.

L'un des traits essentiels qui caractérisent les deux séries est l'existence, à des altitudes voisines, de coulées de trachytes à aimantation inverse reposant par l'intermédiaire d'un niveau d'argile rouge sur une série de tufs ou s'intercalent de nombreuses coulées d'andésilabradorites de puissance et d'étendue variables. Il paraît donc possible de considérer que l'intercalation d'argile rouge marque l'existence d'une pause dans l'activité volcanique, celle-ci se décomposant en deux phases :

1 - phase effusive et explosive donnant naissance aux tufs T_1 et aux coulées d'andésilabradorites.

2 - phase à prédominance explosive avec mise en place des premières coulées de trachytes et des tufs T_2 .

(β) Si nous comparons maintenant les coupes (56-1a, 56-1b, 58) et 56-2a) nous devons considérer :

- d'une part, les rapports possibles entre les trachytes supérieurs de la coupe (56-1a) et ceux des coupes 58 et (56-2a)

- d'autre part, les rapports entre les tufs supérieurs des coupes (56-1a et 1b) avec ceux de la coupe 58.

- Si sur les deux faces du Rocher du Cuzet les niveaux supérieurs de tufs sont contemporains, les trachytes supérieurs de la coupe (56-1a) ne sont pas équivalents de ceux des coupes 58 et (56-2a). Ils correspondraient à une phase tardive postérieure à la venue des (β)_a et nous aurions la succession :

1 - phase andésilabradorites et tufs T_1 .

2 - phase de mise en place des trachytes et des tufs T_2

3 - après une phase d'érosion mise en place des basaltes (β)_a , des trachytes terminaux et des coulées supérieures d'andésilabradorites.

4 - mise en place des phonolites.

De plus si les niveaux supérieurs de tufs sont contemporains, on

conçoit très bien alors que les coulées correspondant aux échantillons C_{14} à C_{17} et C_{22} qui supportent directement les niveaux de trachytes et de tufs soient contemporains.

2) Le flanc Est du pic du Mézenc (fig. 59^{*} et 55 C)

a) Cirque des Boutières (série M de PREVOT)

Là encore, nous allons rassembler les résultats obtenus par M. PREVOT sur une coupe de synthèse (fig. 59 A)

↳) Description sommaire de la série.

Nous retrouvons à la base de la série des coulées de β'' à aimantation inverse surmontées par une coulée β'_b à aimantation normale d'épaisseur variable. Vient ensuite une épaisse coulée d'andésilabradorites à aimantation inverse qui supporte la série de tufs T_1 intercalés de coulées lenticulaires. Les coulées sont plus nombreuses mais plus réduites au sommet de cette phase.

Cet ensemble (tufs et coulées) semble présenter une aimantation normale dominante sauf au sommet où s'intercale une petite coulée à aimantation inverse. On trouve ensuite entre 1430m et 1560m les tufs T_2 traversés par des dykes de basalte à aimantation normale. De 1560 m à 1750 m se situe une série de coulées d'andésilabradorites, de trachytes et de phonolites à aimantation normale. Les trachyphonolites qui terminent la coupe à partir de 1750m présentent une aimantation inverse.

β) Comparaison avec les rochers de Cuzet.

Si nous comparons les coupes 58 et 59A nous pouvons constater une grande similitude.

Les tufs T_2 apparaissent ici à 1440 m soit à la même altitude que la coulée de trachytes qui surmonte les tufs T_2 au niveau de la coupe 58. Sous l'ensemble $T'_a T_2$ nous trouvons dans les deux cas six niveaux où la polarité est alternativement

← Coupe M de Prevot →

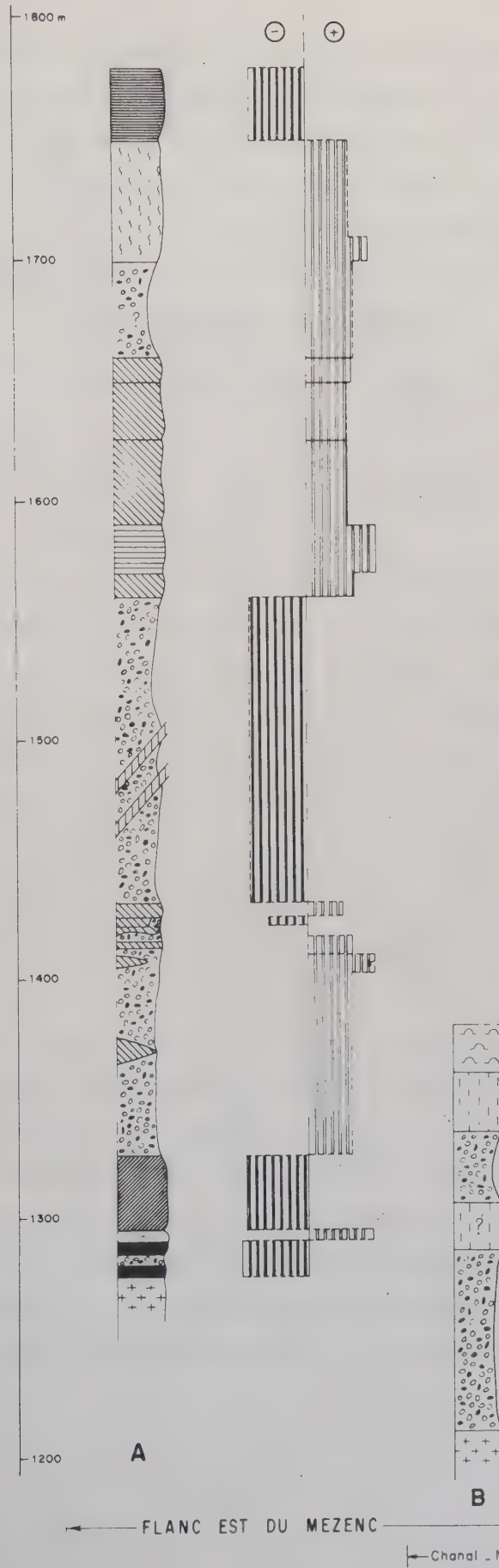


Fig. 59

normale et inverse. Par ailleurs M. PREVOT a montré que les basaltes sommitaux de la coupe 58 se reliaient à une coulée que nous trouvons entre 1600 et 1660 m sur la coupe 59A. En tenant compte de l'ensemble des observations nous arrivons donc à la conception que la mise en place du volcanisme s'est bien faite en plusieurs phases couvrant neuf périodes de champ magnétique peut-être dix.

b) Cirques septentrionaux :

Aucune étude paléomagnétique n'a été exécutée dans ce secteur. Cependant, il nous paraît intéressant d'en rappeler la structure de façon à assurer la liaison entre la série du Mézenc et la série de St-Clément que nous allons étudier.

α) Le Cirque de Médille.

L'érosion glaciaire a entaillé à la partie NE du Mézenc un cirque de même style que celui que nous venons d'évoquer. Tandis que le versant Sud, qui se raccorde par le col de Pralapos au cirque des Boutières, montre de très rares affleurements, le versant Nord limité par une arête d'orientation SE-NE a permis à M. PREVOT d'établir deux coupes précises partant de la cote 1381 couronnée par la phonolite.

A l'Est de la cote 1381 et reposant sur le gneiss à 1210 m affleurent des tufs très altérés. Ces tufs sont surmontés par une coulée de basaltes recouverte par la phonolite du point 1381.

Au NE du point 1381 la coulée de phonolite terminale repose sur une coulée de basaltes qui masque des tufs. Ici ces tufs sont rouges et ils surmontent une coulée de basaltes plus ancienne séparée du socle par un niveau de tufs inférieurs.

De plus au niveau de la cote 1381 la totalité de la série est recoupée par un dyke basaltique. Cette étude montre bien l'existence dans une première série de tufs de deux coulées de basaltes antérieurs à la venue de phonolite et enfin l'exis-

DE CHANAL A MEDILLE - Coupe de la Cote 1381

W.

Cote 1381

E.

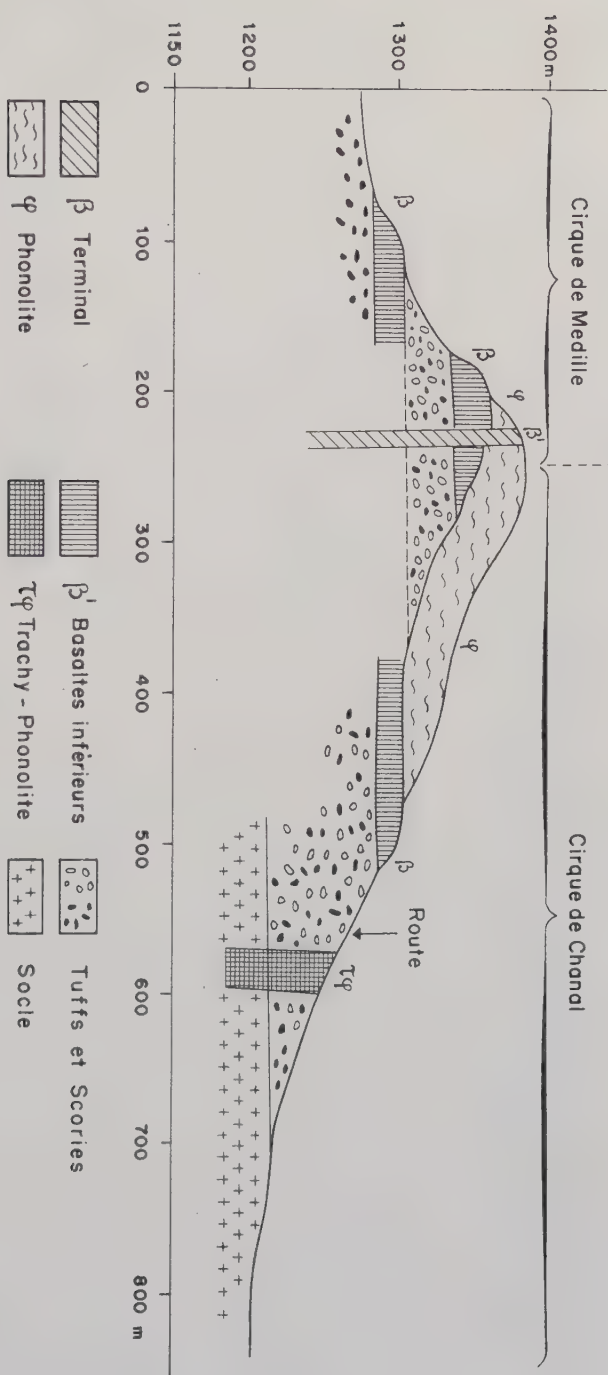


Fig. 60

tence d'un dyke de basaltes recoupant l'ensemble du système. Nous avons schématisé ces résultats sur les coupes 59B et 60.

β) Le Cirque de Chanal.

Au Nord de l'arête rocheuse que nous venons d'étudier, l'érosion glaciaire a entaillé des formations volcaniques qui ne sont pas comparables à celles rencontrées dans le cirque de Médille. En effet, sur le chemin qui relie Chanal à Médille apparaissent des brèches renfermant des blocs de gneiss, de basaltes et de phonolites comparables à celles du point 1381. Ces brèches sont donc postérieures aux phonolites; elles se raccordent aux scories mêlées de basaltes frais qui tapissent une grande partie du cirque. Il s'agit là d'un ancien édifice volcanique postérieur aux phonolites de la cote 1381 qui peut se raccorder facilement au dyke de basalte recoupant l'arête.

3) La série de St-Clément (fig. 61* et fig. 55 C)

a) Description géologique.

Entre le hameau de Pailhès et le village de St-Clément affleure une épaisse série qu'il a été possible d'étudier en détail. Elle débute au Nord du hameau de Pailhès par des trachytes inférieurs recouvrant le granite à des altitudes variant entre 1040 m et 960 m. Cette nappe supporte une épaisse couche de tufs intercalés d'andésilabradorites voire de trachyandésites, continue jusqu'au village de St-Clément soit à une altitude de 1200 m. A certains niveaux les coulées ont cuit des couches d'argiles rouges qui surmontent les tufs. Enfin entre St-Clément et Vahille l'ensemble est recouvert par la nappe de trachytes supérieurs qui constituent le plateau de la cote 1266.

b) Caractères magnétiques.

L'essentiel de la coupe est constitué par des coulées à aimantation inverse, sauf à la base où des trachytes de Pailhès et

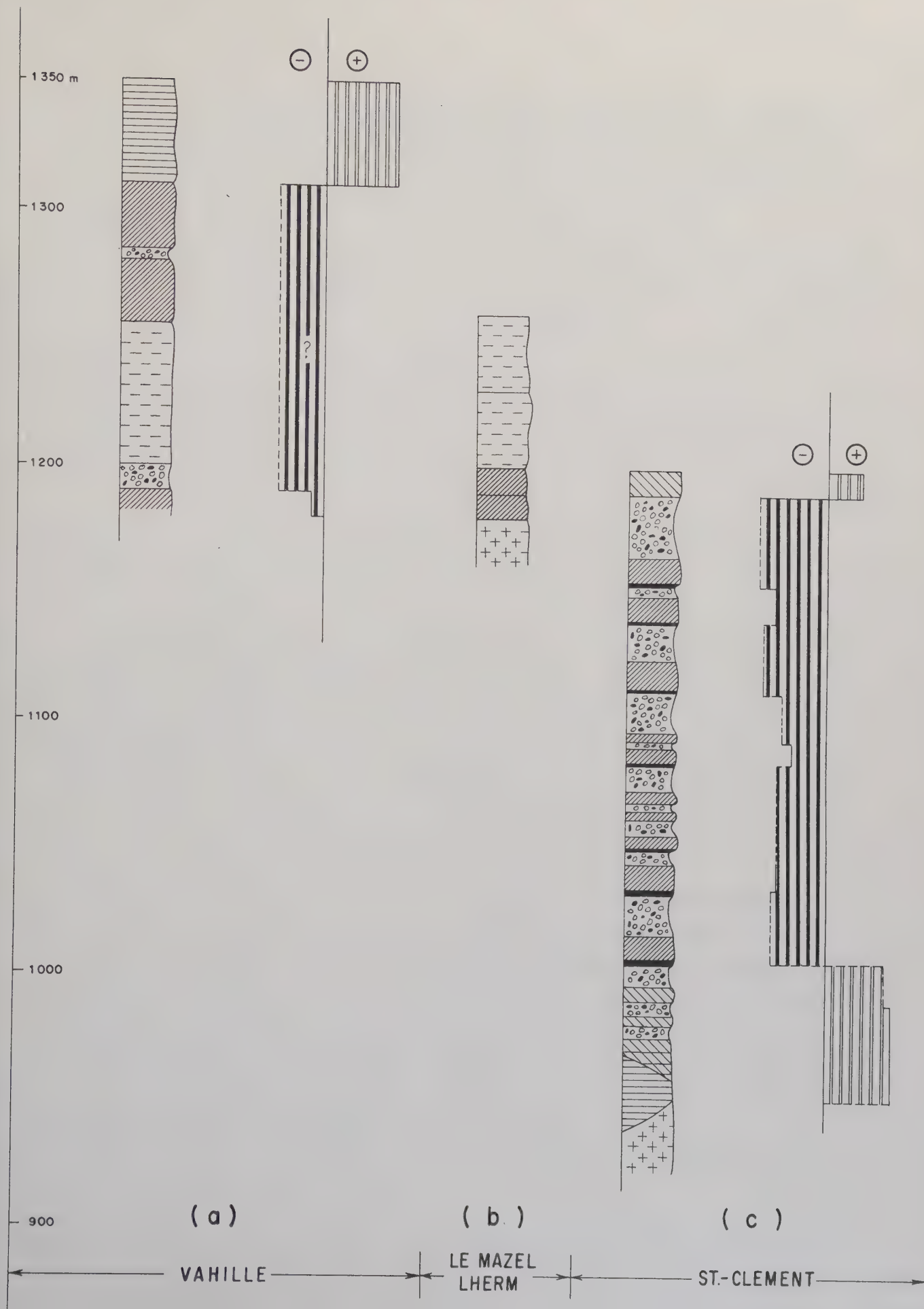


Fig. 61

première coulée basique sont à aimantation normale et au sommet à partir de St-Clément où les coulées supérieures et les trachytes ont une aimantation normale. (Fig. 61 c)

La série à aimantation inverse de St-Clément se raccorde ainsi aux andésilabradorites, étudiées par M. PREVOT, qui affleurent en contrebas du hameau de Vahille. (Fig. 61 a)

c) Conclusions.

La série de St-Clément est donc constituée par une série extrêmement épaisse où dominent les éléments effusifs et qui ne correspond qu'à trois périodes du champ géomagnétique. L'existence de cette série épaisse pose un problème stratigraphique que nous allons maintenant évoquer.

Dans sa partie Nord au niveau de la Rimande, elle recouvre des niveaux pontiens décrits par BOULE qui affleurent près du village de Rochessoux à une altitude voisine de 1000 m.

Il semble bien que dans l'ensemble de la zone de Rochessoux - Pailhès - St-Clément les formations volcaniques recouvrent, entre 960 m et 1000 m, une surface d'érosion sur laquelle se sont déposés, ça et là, des lignites. On peut penser que cette surface représente le fond d'une ancienne vallée très évasée. Toutefois si cette hypothèse est en partie exacte elle n'est pas totalement satisfaisante pour les raisons suivantes :

α) La série de St-Clément repose sur une surface voisine de 1000 m.

Nous allons voir que dans toute la zone qui s'étend de St-Clément au Sud jusqu'au village de Villelonge et même jusqu'au Mazet-St-Voy au Nord, le basalte repose sur le socle à des altitudes voisines de 1000 m. Il est donc difficile d'admettre que la série de St-Clément est entièrement due à un remplissage de vallée.

β) L'éperon rocheux de Mazel ne se raccorde pas à cette surface.

Si les trachyandésites et les andésilabradorites semblent bien tapisser de façon continue le fond de la haute-vallée actuelle de la Rimande, il faut tenir compte de l'éperon de granite qui affleure au niveau du hameau de Mazel au Nord de la cote 1266 où il est recouvert par la nappe de trachytes supérieurs. Le trachyte recouvre donc indifféremment à 1150 m des labradorites ou du granite. Si la topographie antérieure aux venues effusives est exclusivement due à l'érosion, on peut s'étonner de la présence d'un éperon granitique dominant de près de 250 m une surface par ailleurs assez régulière dont l'altitude moyenne oscille autour de 1000 m. Certes, nous avons montré dans le massif du Forez (C. BOBIER, 1960) que les formations volcaniques pouvaient apparaître sur d'anciennes surfaces hérissées de monadocks granitiques; mais ces éléments morphologiques n'ont rien de comparable avec la pointe rocheuse à pente raide que représenterait le granite du Mazel. Seule l'existence de vallées semblables à celles que l'on rencontre dans les conditions climatiques actuelles permettrait d'expliquer des dénivellations comparables. Or, ceci est en contradiction avec l'existence d'une surface régulière. Il nous paraît donc logique de faire intervenir des phénomènes tectoniques.

Y) Existence d'une surface d'érosion
à 1200 m.

L'étude de la coupe Est-Ouest de la fig. 62 réalisée entre Pailhès et Chaudeyrolles révèle qu'à l'Ouest de ce village, entre le hameau de la Fouillouse et le Pic de Colombet, le granite affleure au-dessus de 1200 m. De plus, la rivière qui passe au Nord de la Fouillouse entaille des formations sédimentaires attribuées au Miocène. Cette coupe montre aussi que les trachytes supérieurs de Vahille semblent occuper une ancienne vallée entaillée au flanc des andésilabradorites du Mt-Signon et de la Rimande.

Plus au Sud, au niveau des dents du Mézenc, M. PREVOT a montré l'existence d'un affleurement de granite à une altitude

COUPE DE CHAUDEYROLLES A ST.-CLEMENT

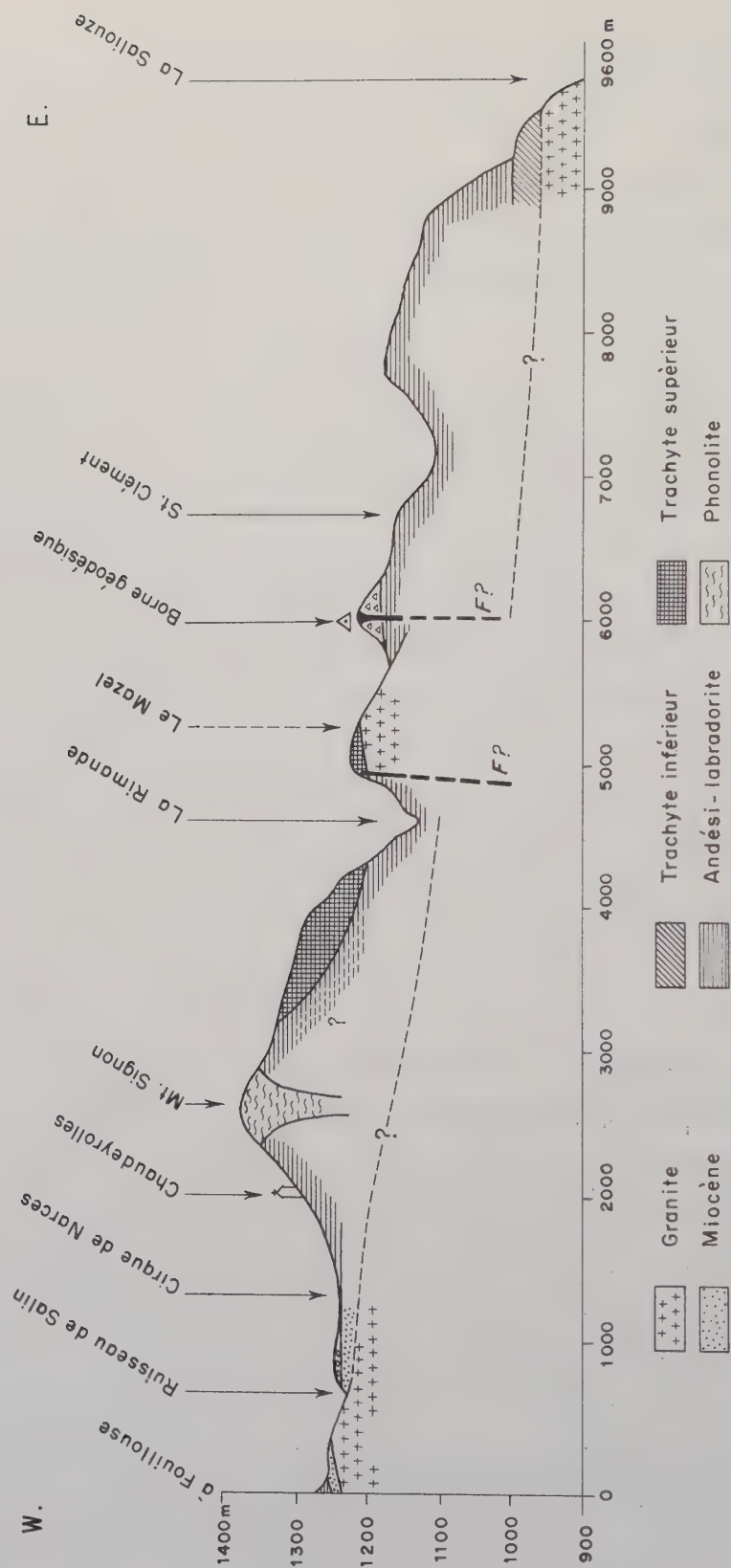
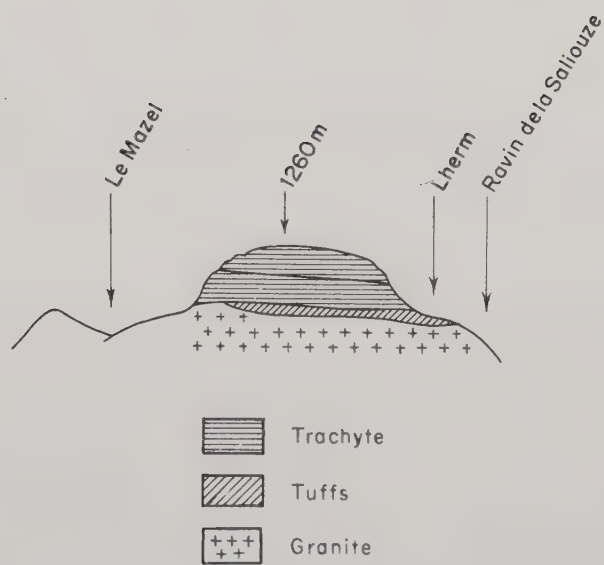


Fig. 62



**Coupe transversale du Mazel
à Lherm. (d'après M. BOULE 1893)**

Fig. 63

de 1380 m près du point de sortie des trachytes inférieurs.

Nous avons vu près de la cote 1381 au Nord-Est du Mézenc le contact série volcanique-gneiss s'établir à 1210 m. Dans le cirque des Boutières ce contact se situait à 1260 m (1310 m à Goudet) tandis qu'en amont de la vallée de l'Esse il se situe à 1373 m. Sur le versant occidental de la montagne de Chaulet, le contact granite-formation volcanique est à 1260 m. Il semble donc bien que de la montagne de Chaulet au Sud, à Chaudeyrolles au Nord, existe un substratum granitique fracturé certes mais se situant toujours au-dessus des 1200 m. Cette altitude est voisine de l'affleurement granitique situé entre le Mazel et le hameau de l'Herm au S-W de St-Clément. dont BOULE avait déjà montré l'existence (fig. 63).

δ) Conclusion.

Brusquement à partir de St-Clément la série volcanique repose sur une surface voisine de 1000 m. Il nous semble donc logique d'envisager l'existence d'une faille entre St-Clément et le Mazel. Cette cassure séparerait une surface d'érosion située à 1000 m dans la partie Nord-orientale d'une surface située à 1200-1300 m dans la partie Sud-occidentale. Ce grand accident pourrait correspondre à l'un des accidents décrits par P. BOUT en 1966

4) Le secteur des Vastres.

Nous avons fait personnellement l'étude détaillée du plateau volcanique qui s'étend depuis Fay -sur-Lignon à l'Ouest jusqu'aux Hameaux du Clauzelles et du Crouzet à l'Est et se prolonge au Nord jusqu'au village de Villelonge (fig. 64).

a) Les données générales.

D'après la carte de BOULE (2e et 3e édition de la carte géologique du Puy au $\frac{1}{80.000e}$) la série volcanique comprend ici des basaltes, des andésilabradorites et des trachytes supérieurs.

CARTE SOMMAIRE DU SECTEUR " LES VASTRES - VILLELONGE "

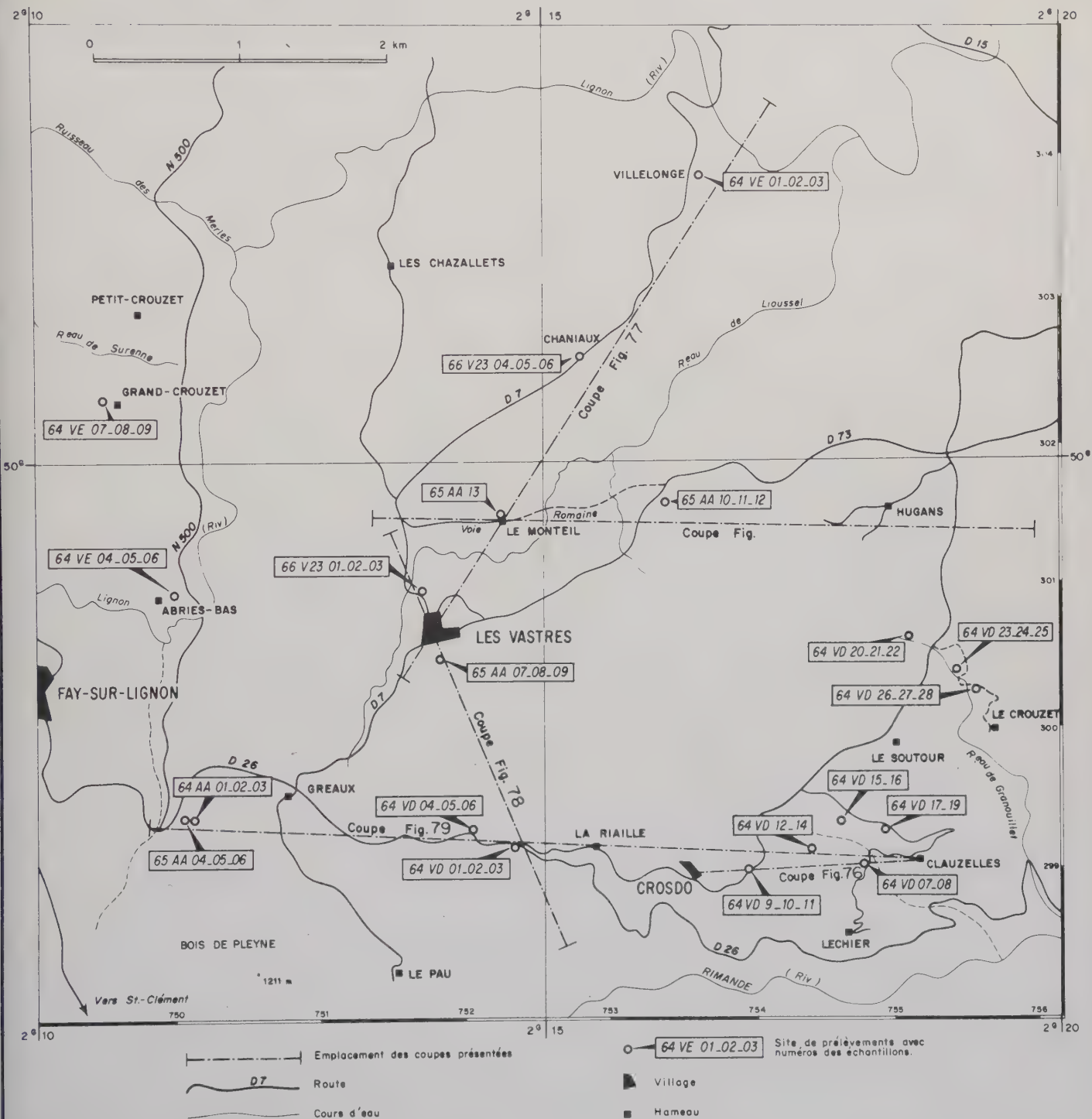


Fig. 64

Mais alors qu'au Sud du massif les basaltes compacts β' b reposent sur des andésilabradorites, ici ces dernières s'intercalent entre les trachytes supérieurs et les basaltes β' b. Nous avons là une belle illustration des difficultés que l'on rencontre si on utilise seulement les caractères pétrographiques des roches pour définir la stratigraphie. Nous allons voir que l'analyse des caractères magnétiques permet d'obtenir des précisions supplémentaires.

b) Les affleurements de la D 26.

d) Croisement de la D 26 et de la N 500
(fig. 65).*

La première coupe NW-SE a été réalisée, au S-E de Fay-sur-Lignon, entre le croisement de la D 26 et de la N 500 d'une part, et la cote 1211 du Bois de Pleyne d'autre part. Entre 1128 m et 1145 m affleure une première coulée de laves qui a été exploitée en carrière. Sa base est constituée par un basalte compact noir tandis que le sommet est formé de scories et de projections soudées de couleur lie de vin. A 1145 m apparaît un niveau d'argiles rouges épais de 1 à 2 m. Ces argiles rouges sont elles-mêmes surmontées par une seconde coulée d'aspect basaltique formant un ressaut dans la topographie entre 1145 m et 1155 m. De 1155 m à 1170 m, affleurent ça et là, des lambeaux de basaltes dont les rapports sont difficiles à préciser. A partir de 1380 m apparaissent des lambeaux de trachytes qui se raccordent aux épaisses coulées de trachytes supérieurs venant de Chaudeyrolles décrites par BOULE. Selon cet auteur, les basaltes β' b que nous avons échantillonnés sont surmontés par des coulées d'andésilabradorites qui se développent vers l'Est au niveau du village de Gréaux. En fait, la coulée que nous avons observée entre 1145 m et 1150 m se prolonge jusqu'à Gréaux et l'on peut suivre de façon continue le niveau inférieur d'argiles rouges, bien visible, tout au long de la courbe de niveau 1140 m. Les analyses pétrographiques montrent :

* légende page 162

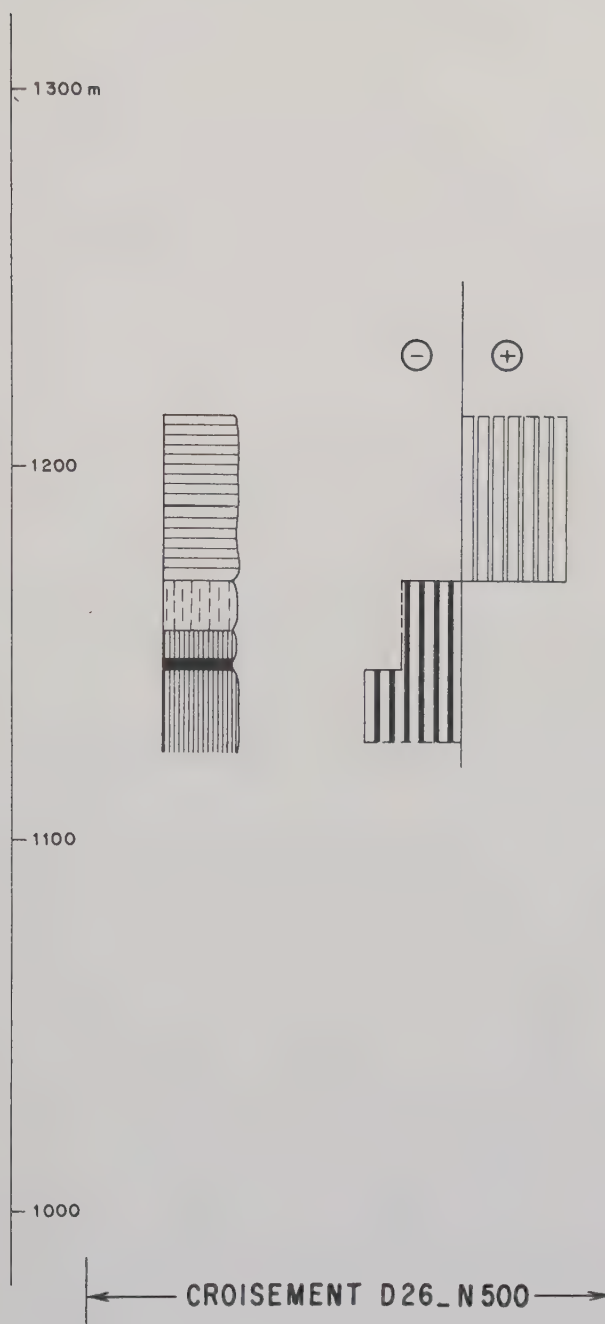


Fig. 65

- Coulée inférieure : Elle est marquée par la présence de phénocristaux d'olivine altérée en serpentine et de pyroxènes. C'est un basalte compact.

- Coulée supérieure : caractérisée par l'absence de phénocristaux et l'abondance de microlites de plagioclases donnant une structure microlitique fluidale à tendance trachytique. Globalement c'est une trachyandésite.

L'analyse de l'aimantation montre que les deux coulées présentent une aimantation inverse.

- Niveau inférieur (1128 - 1145 m)

Trois échantillons (65 AA 04, 05, 06) ont été prélevés entre 1120 m et 1130 m. L'étude des courbes de désaimantation montre l'existence d'une A.R.I. sur l'un des échantillons (65 AA 04) qui disparaît après désaimantation à 100 Oersted. Il nous paraît en effet difficile d'admettre dans ce cas l'existence d'une aimantation visqueuse car les deux autres échantillons ne sont pas porteurs d'une telle aimantation.

Nous prendrons comme valeurs caractéristiques de la direction d'aimantation :

	I	D	α_{95}
65 AA 04	- 54°	160°E	
65 AA 05	- 72°	121°E	
65 AA 06	- 67°	134°E	
Résultante	- 65°	142°E	20°

- Coulée supérieure (1145 - 1150 m)

Echantillons (65 AA 01, 02, 03)

Le témoin 65 AA 02 présente, superposée à une aimantation probablement inverse, une A.R.I. caractéristique, (décrois-

sance rapide de la courbe Repar; inclinaison pratiquement constante; déclinaison D variable). La composante horizontale de l'A.R.I. est très forte. Seuls les blocs 65 AA 01 et 65 AA 03 permettent de déterminer le sens de l'aimantation de la coulée. Nous noterons cependant que ces deux échantillons présentent une aimantation visqueuse assez importante surtout en ce qui concerne l'échantillon 65 AA 01. Nous prendrons comme sens caractéristique celui des aimantations résistant à un champ démagnétisant de 300 Oersted.

	I	D	α 95
65 AA 01	- 36°	176° W	
65 AA 03	- 42°	98° E	
Résultante	Inverse	-	?

(2) La série de Crosdo (fig. 66)*

- Partie inférieure, une coupe est visible peu après Gréaux près du départ de la route qui rejoint le hameau de Crosdo : on y voit, reposant directement sur le gneiss en contrebas de la ferme de La Riaille, entre 1055 et 1060 m, une couche de scories. Ce niveau est recouvert par une coulée de laves épaisses de 25 m sur laquelle est implantée la route qui dessert Crosdo et le Soutour.

A partir de 1085 m un deuxième niveau de scories et de tufs affleure. Il est surmonté par une seconde coulée de basalte qui se perd sous la couverture végétale qui recouvre la cote 1154 m séparant le village de Vastres et la D 26. Sur toute cette croupe doivent en fait affleurer diverses formations qu'il nous a été impossible de reconnaître.

L'analyse pétrographique des roches étudiées, qui, d'après BOULE, se rattachent à des andésilabradorites donne les résultats

* légende page 162.

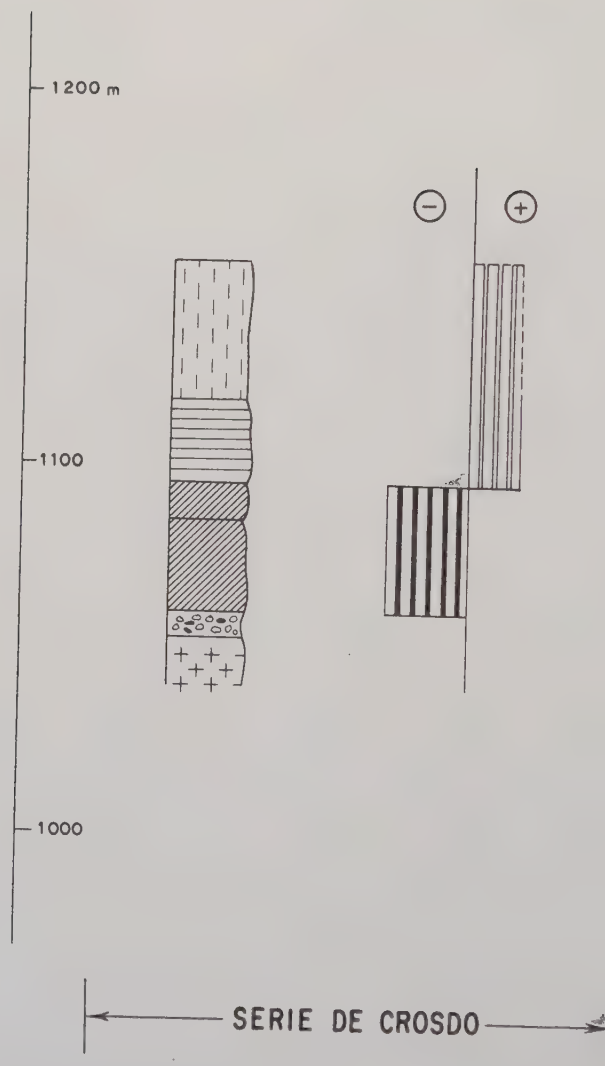


Fig. 66

suivants :

Coulée inférieure : Dans une pâte microlitique apparaissent quelques phénocristaux d'olivine altérée et de pyroxènes. Les microlites de plagioclases dominent sur les ferromagnésiens. On a un basalte compact.

Coulée moyenne : Elle est marquée par l'absence de phénocristaux. Les ferromagnésiens sont très rares mais les minéraux opaques sont très abondants : c'est une andésilabradorite.

L'analyse magnétique permet d'obtenir les directions d'aimantation :

La coulée de base a été échantillonnée à la cote 1067 m au raccordement de la D 26 et de la route de Crosdo. Les trois échantillons (64 VD 01, 02 et 03) espacés respectivement de 20 et 10 mètres montrent les caractères suivants :

Tandis que l'échantillon 64 VD 01 présente au départ une légère A.R.I. qui disparaît à partir de 200 Oersted , l'échantillon 64 VD 02 est marqué par la présence d'une A.R.I. extrêmement intense ($M_0 = 5 \text{ uem c.g.s.}$) qui s'effondre très rapidement ($\frac{M_{200}}{M_0} \approx \frac{1}{10}$)

mais ne permet pas de déduire la direction de l'aimantation thermorémanente (là encore on aurait une A.R.I. à composante horizontale extrêmement forte probablement due à un champ de foudre).

L'échantillon 64 VD 03 est lui aussi marqué par l'existence d'une A.R.I. qui disparaît après une désaimantation à 300 Oersted . Les directions d'aimantation thermorémanente peuvent se résumer d'après les résultats suivants :

	I	D	α_{95}
64 VD 01	- 49°	92°E	
64 VD 02	ARI		
64 VD 03	- 60°	74°E	
Résultante	- 55°	83°E	?

La coulée moyenne a pu être étudiée le long de la D 26, à 1085 m d'altitude, dans le virage de la cote 1083. Signalons que l'échantillon 64 VD 06 présente, en dehors d'une légère viscosité surtout apparente sur la composante horizontale, une ARI superposée à une ATR inverse. L'échantillon 64 VD 05 montre l'existence probable d'une aimantation visqueuse plus importante que dans l'échantillon précédent mais qui n'empêche pas d'atteindre l'A.T.R. dans les paliers supérieurs de désaimantation. En ce qui concerne l'échantillon 64 VD 04 l'aimantation est essentiellement isotherme ($M_s = 8 \text{ u.e.m. c.g.s.}$) et la désaimantation ne permet pas d'atteindre l'A.T.R. tout au moins dans des conditions satisfaisantes. Le sens de l'aimantation thermoremanente peut être caractérisé d'après le tableau suivant :

	I	D	d 55
64 VD 06	- 73°	20° W	Lavage non terminé
64 VD 05	- 44°	115° E	
Résultante	Négatif	?	?

γ) Conclusions.

La différence de direction entre les deux formations n'est pas caractéristique car elle rentre parfaitement dans les limites d'erreurs. Nous calculerons donc une direction résultante globale pour l'ensemble de ces deux coulées. Cette résultante a les caractéristiques suivantes pour la direction :

$$I = - 64^\circ \quad D = 88^\circ E$$

Cette valeur n'est donnée qu'à titre indicatif surtout pour le sens.*

- La partie supérieure : Elle peut être étudiée au NE du hameau où l'on voit apparaître, à 1095 m, une passe d'argiles rouges qui marque la base d'une coulée. Une série de trois échantillons a été prélevée dans la petite carrière couverte, à 1095 m,

+ Nous n'avons pas ici recherché la direction de l'ATR avec précision nous contentant de nous assurer du sens de l'aimantation. La moyenne, calculée à partir d'un nombre insuffisant d'échantillons, ne peut pas indiquer avec certitude la direction de l'ATR mais son sens est caractéristique du sens de celle-ci.

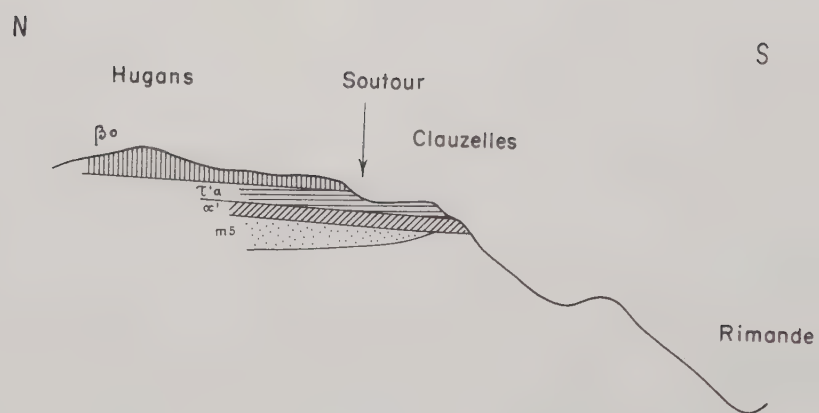
à gauche de la route, après le hameau. A l'affleurement la formation présente un aspect de trachytes; l'étude pétrographique confirme ce résultat :

la roche est en effet formée d'un feutrage de microlites de plagioclases à structure trachytique. Quelques phénocristaux de plagioclases parsèment la lame.

L'analyse magnétique a donné les résultats suivants : les trois échantillons étaient marqués par la présence d'A.R.I. mais dans tous les cas il a été possible d'obtenir en fin de parcours l'aimantation thermorémanente et nous prendrons comme direction les valeurs obtenues pour 300 et 400 Oersted . Nous avons les données suivantes :

	I	D	α 95
64 VD 09	+ 32°30	44° E	
64 VD 10	+ 24°30	34° 30 E	
64 VD 11	+ 28°30	44° E	
Résultante	+ 28°30	40°50E	10°

La série de Crosdo comporte donc des coulées à aimantation inverse entre 1055 et 1085 m surmontées par des coulées à aimantation normale à partir de 1090 m, au-dessus du hameau de Crosdo. Notons aussi l'existence d'un léger pendage, en direction de l'Ouest, des niveaux inférieurs, visible le long de la route comme si ces niveaux avaient légèrement basculé. La disposition des coulées au niveau de Crosdo peut laisser aussi présager un léger pendage vers le NE, des coulées supérieures. Nous aurions donc une légère discordance entre les coulées à aimantation inverse et les coulées à aimantation normale.



- Coupe Hugans Le Clauzelles - (d'après M. BOULE 1893)

Fig. 67

c) Le Cirque de Clauzelles.

α) Les données géologiques.

Cette dépression creusée au flanc Nord de la vallée de la Rimande est limitée au NE par une série de barres rocheuses dues à des coulées franchies en cascade par le ruisseau. Nous avons fait une étude détaillée de ce secteur car BOULE signalait que les formations reposaient sur des argiles miocènes (fig. 67). Nous présentons maintenant les résultats de nos observations (fig. 68 a et b)*

Au Sud sur la rive droite du petit ruisseau qui coule en contrebas du Clauzelles nous avons trouvé (fig. 68 a) une coulée basaltique reposant directement sur le granite à 960 m d'altitude. Cette coulée qui a été échantillonnée (éch. 64 VD 07 et 64 VD 08) au niveau du chemin conduisant du Clauzelles au Chier présente l'aspect pétrographique suivant : Les phénocristaux sont rares et formés essentiellement d'olivine altérée en Iddingsite. Suivant les points, la nature des plagioclases permet de dire qu'il s'agit de basalte compact ou de labradorite.

La coulée se poursuit jusqu'à 980 - 985 m. Au-dessus les éboulis de pente, correspondant aux falaises supérieures, masquent tout affleurement.

Vers le Nord au contraire, sur la rive gauche du ruisseau, il est possible d'établir une coupe beaucoup plus complète figure (68 b). A 950 m, reposant sur le granite, on trouve, tapisant le fond du ruisseau, une série d'argiles sableuses sans éléments basaltiques. Près de la cote 977 ces argiles sont recouvertes par des lignites qui correspondent très probablement aux lignites qui ont été décrits par les anciens auteurs. Ces sédiments sont immédiatement surmontés à 980 m par un lambeau de coulée très altérée qui forme le méplat où est construit le hameau. L'état d'altération n'a pas permis d'effectuer des études paléomagnétiques et pétrographiques de qualité. Cette coulée est recouverte à partir de 1000 m par des niveaux scoriacés très dé-

* légende page 162.

composés qui constituent la semelle de la coulée formant, entre 1020 et 1040 m, la première barre rocheuse limitant le cirque de Clauzelles. Cette coulée qui, en dehors du ruisseau, s'élève jusqu'à 1050 m a pu être étudiée en contrebas du hameau de La Grange (éch. 64 VD 17, 18 et 19). L'aspect pétrographique est le suivant : Dans une pâte vitreuse assez développée apparaissent des microlites de feldspath plagioclases et quelques rares phénocristaux de pyroxène. Il s'agit d'une andésilabradorite pauvre en éléments ferromagnésiens.

Enfin la petite barre rocheuse que l'on rencontre entre 1070 et 1080 m, en arrière du lieu-dit La Grange, est due à une coulée encadrée à la base et au sommet par des niveaux scoriacés. Cette coulée a été échantillonnée d'une part au Sud du Cirque au-dessus de la rivière, d'autre part près du chemin venant de Clauzelles, légèrement au NE de la Grange. Cette troisième coulée semble se rattacher à la coulée supérieure de la série de Crosdo. Elle présente l'aspect pétrographique suivant : Dans une pâte formée de grands microlites de feldspath, on trouve des phénocristaux d'augite et d'amphiboles résorbés. Il s'agit d'une coulée de labradorite.

Dans le Cirque de Clauzelles les formations volcaniques recouvrent des arkoses et des argiles que l'on peut assimiler aux argiles miocènes. Ces sédiments ont été entaillés par l'érosion. L'une des petites vallées ainsi formées a été comblée par une coulée basaltique à aimantation inverse qui a pu déterminer la formation d'un lac de barrage où se sont accumulés les lignites qui surmontent les arkoses au niveau du ruisseau. La première venue basaltique serait donc antérieure aux lignites. On peut bien sûr envisager une autre hypothèse en admettant que la coulée a rempli une vallée creusée dans une formation renfermant les niveaux ligniteux. Toutefois, nous verrons que dans la vallée de la Gazeille à l'Ouest du massif, au niveau de Bonnefoy, et dans la vallée de l'Aubépin, des coulées basaltiques ont précédé la mise en place des lacs ou des plans d'eau dans lesquels ont pu se former les

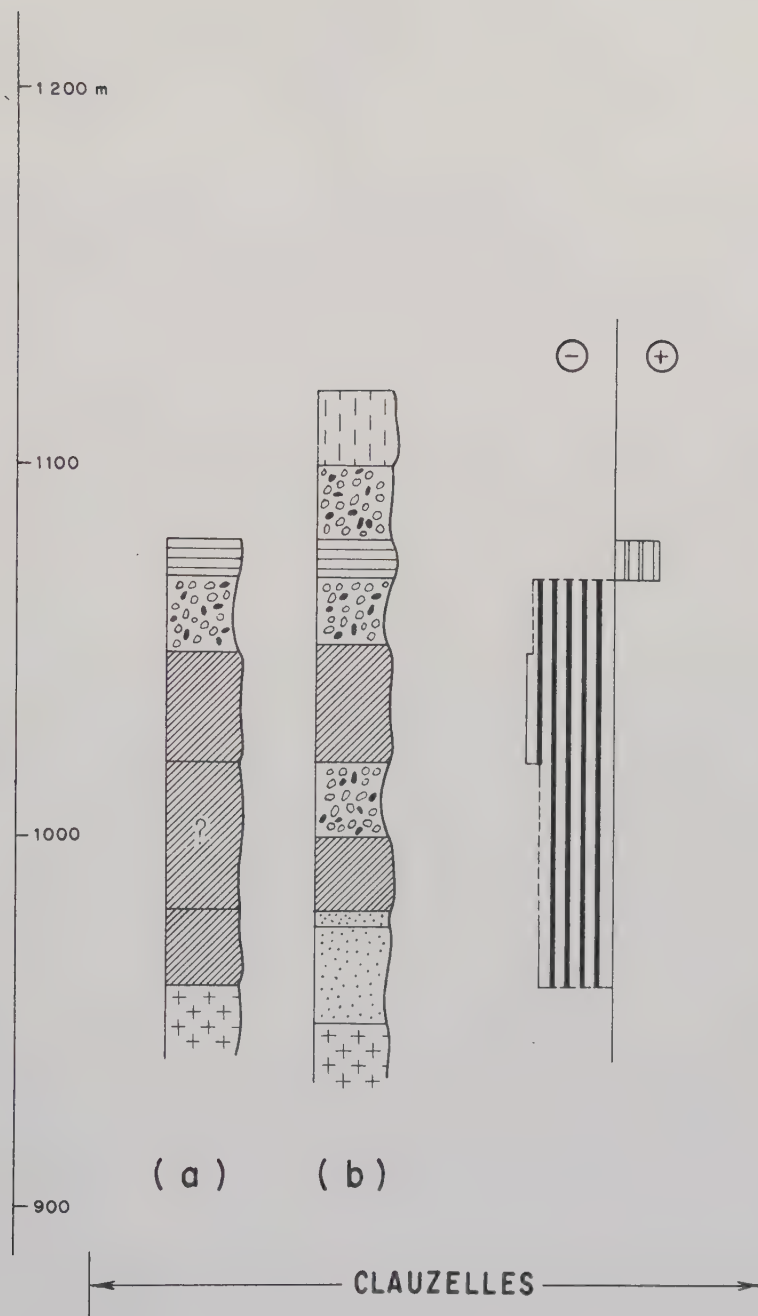


Fig. 68

lignites que l'on rencontre dans le massif du Velay.

(3) Les données magnétiques.

Du point de vue paléomagnétique on obtient les résultats suivants :

- Coulée inférieure : éch. 64 VD 07 et 08 (960 - 980m).

L'échantillon 08 présente une aimantation très dure, à peine entamée par l'action d'un champ de 400 Oersted. Cette aimantation, inverse, nous semble devoir être attribuée à une A.T.R.

Au contraire l'échantillon 07 présente deux aimantations, dont l'une disparaît très rapidement après l'action d'un champ de 100 Oersted. Finalement l'aimantation thermorémanente est caractérisée par une inclinaison négative. L'orientation défavorable n'a pas permis de calculer la déclinaison.

- Coulée moyenne entre 1020 et 1050 m : éch. 64 VD

17-18-19.

Sur les trois échantillons prélevés l'un (64 VD 19) présente une aimantation thermorémanente typique (figure 69). L'aimantation dure d'intensité moyenne, dont les directions après disparition de l'aimantation visqueuse après 200 Oersted présente une direction extrêmement constante. Les deux autres échantillons sont beaucoup plus défavorables aux études paléomagnétiques. En effet, l'échantillon 64 VD 17, présente une A.R.I. probable qui disparaît par action d'un champ alternatif atteignant 200 à 300 Oersted.

Quant à l'échantillon 64 VD 18, l'action des champs alternatifs atteignant 400 Oersted n'a pas permis de le nettoyer. En effet à partir de 200 Oersted la direction varie de façon aléatoire.

Le sens de l'aimantation moyenne peut être caractérisé par :

— COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 64 VD _17_18 et 19 —

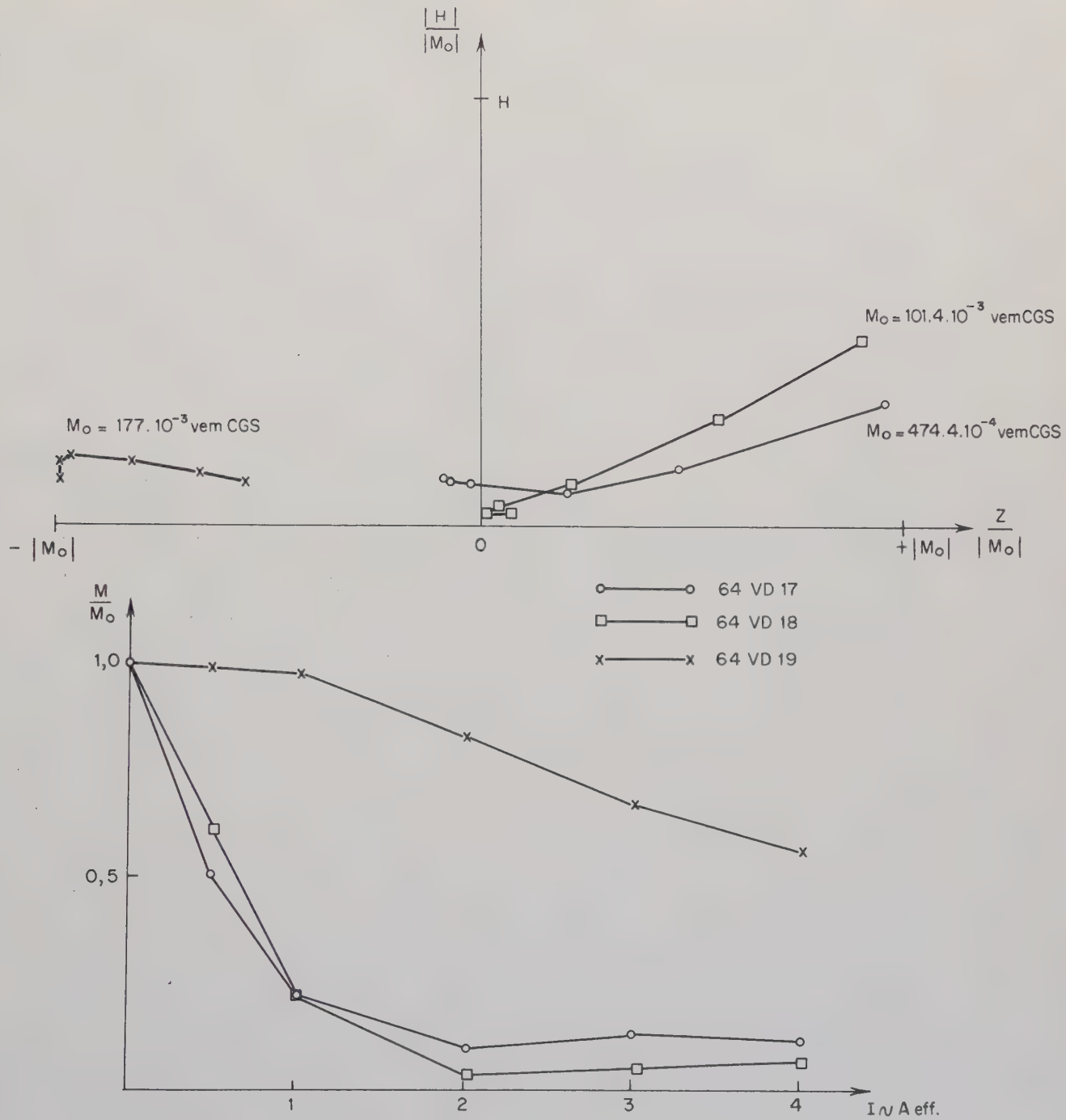


Fig. 69

	I	D	d 95
64 VD 19	- 79°	91°E	
64 VD 17	- 34°30	155°E	
Résultante	négatif	?	-

- Coulée affleurant entre 1070 m et 1080 m.

En ce qui concerne la barre rocheuse que l'on trouve à l'arrière de la ferme de La Grange, l'étude paléomagnétique des 5 échantillons que nous avons prélevés s'est révélée extrêmement délicate. Les trois échantillons prélevés à la partie méridionale de la falaise montrent des aimantations très perturbées. Le module du moment magnétique des échantillons 64 VD 12 et 64 VD 14 atteint au départ des valeurs supérieures à 4 et 24 u.e.m g.g.s. et diminue très vite mais le vecteur conserve une direction constante (fig. 70). Nous avons donc ici des aimantations rémanentes isothermes pratiquement pures*. Par contre l'échantillon 64 VD 13 dont l'aimantation est beaucoup plus faible au départ (dix fois plus petite que les précédentes)** pourrait nous donner quelques indications. Toutefois cette aimantation évolue elle aussi très vite montrant que, là encore, une A.R.I. est venue perturber l'aimantation thermorémanente primitive. Toutefois nous pensons que l'aimantation mesurée après action d'un champ de 400 Oersted est proche de l'aimantation thermorémanente qui serait donc normale. Cette idée est confirmée lorsqu'on examine les 2 échantillons 64 VD 15 et 64 VD 16 (Fig. 71) prélevés près de la Ferme. Bien que dans ces cas nous ayons très certainement une importante part d'aimantation visqueuse il semble qu'à 300 Oersted nous approchions de l'aimantation thermorémanente. Nous prendrons, pour caractériser cette formation, les valeurs suivantes :

* A 600 Oe on a pour 64 VD 12: $M_{600} = 170 \times 4 \times 10^{-3}$ u.e.m.c.g.s.
 I = +4°30 D = 14°E
 pour 64 VD 14 $M_{600} = 97 \times 4 \times 10^{-3}$ u.e.m.c.g.s.
 I = +15°30 D = 102°E

++ Nous parlons ici des moments des échantillons. Etant donné que le volume et la masse de ceux-ci sont du même ordre de grandeur, la différence de grandeur de leurs moments donne une bonne indication de la différence de grandeur de l'aimantation spécifique.

— COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 64 VD _12 et 14 —

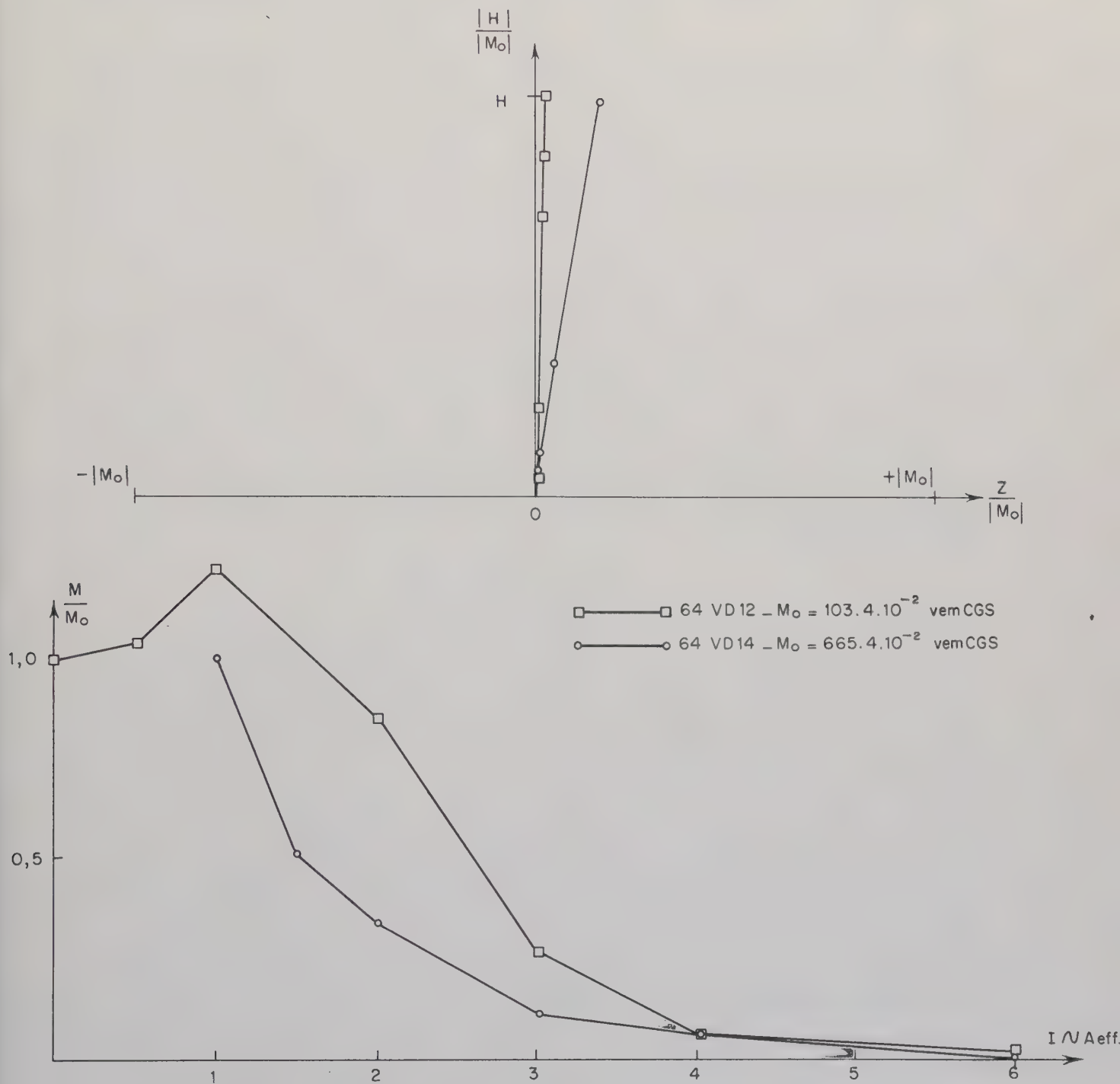


Fig. 70

	I	D	d 95
64 VD 13	+ 30°	64°30E	
64 VD 15	+ 30°	49° E	
64 VD 16	+ 29°	53° E	
Résultante (*)	+ 30°	55°30E	11°

Nous retrouvons donc des directions très voisines de celles de la coulée étudiée à la cote 1090 au NE de Crosdo.

En conclusion, au niveau du Cirque de Clauzelles, reposant sur des lignites (ceux-ci sont peut-être intercalés dans la série) nous trouvons entre 950 m et 1050 m une série de coulées à aimantation inverse surmontée à partir de 1070 m par des coulées à aimantation normale prolongeant les coulées à aimantation normale de Crosdo.

d) Le cirque du Crouzet.

d) Les données géologiques.

Il marque, d'après BOULE, la terminaison Nord-Orientale des andésilabradorites puisque à partir de Gourgouras on rencontre des basaltes (β^b). Nous avons effectué des coupes détaillées en partant du ruisseau de Grancuillet qui court en contrebas du hameau. Une coupe N-S effectuée au niveau du hameau du Crouzet nous a montré l'existence (fig. 72), au niveau du méplat qui supporte le village et jusqu'à 1030 m, d'une épaisse couche d'argile sableuse sans éléments de basalte comparable à celle que nous avons rencontrée en contrebas du hameau de Clauzelles. Ces argiles descendent pratiquement jusqu'au hameau du Crouzet à 1000 m et il ne nous a pas été permis de reconnaître la nature des affleurements entre les argiles sableuses et le granite que l'on

(*) La direction des aimantation des échantillons 64 VD 12 et 14 tendent vers cette direction au cours de la désaimantation.

** Légende page 162.

— COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 64 VD 13 15 et 16 —

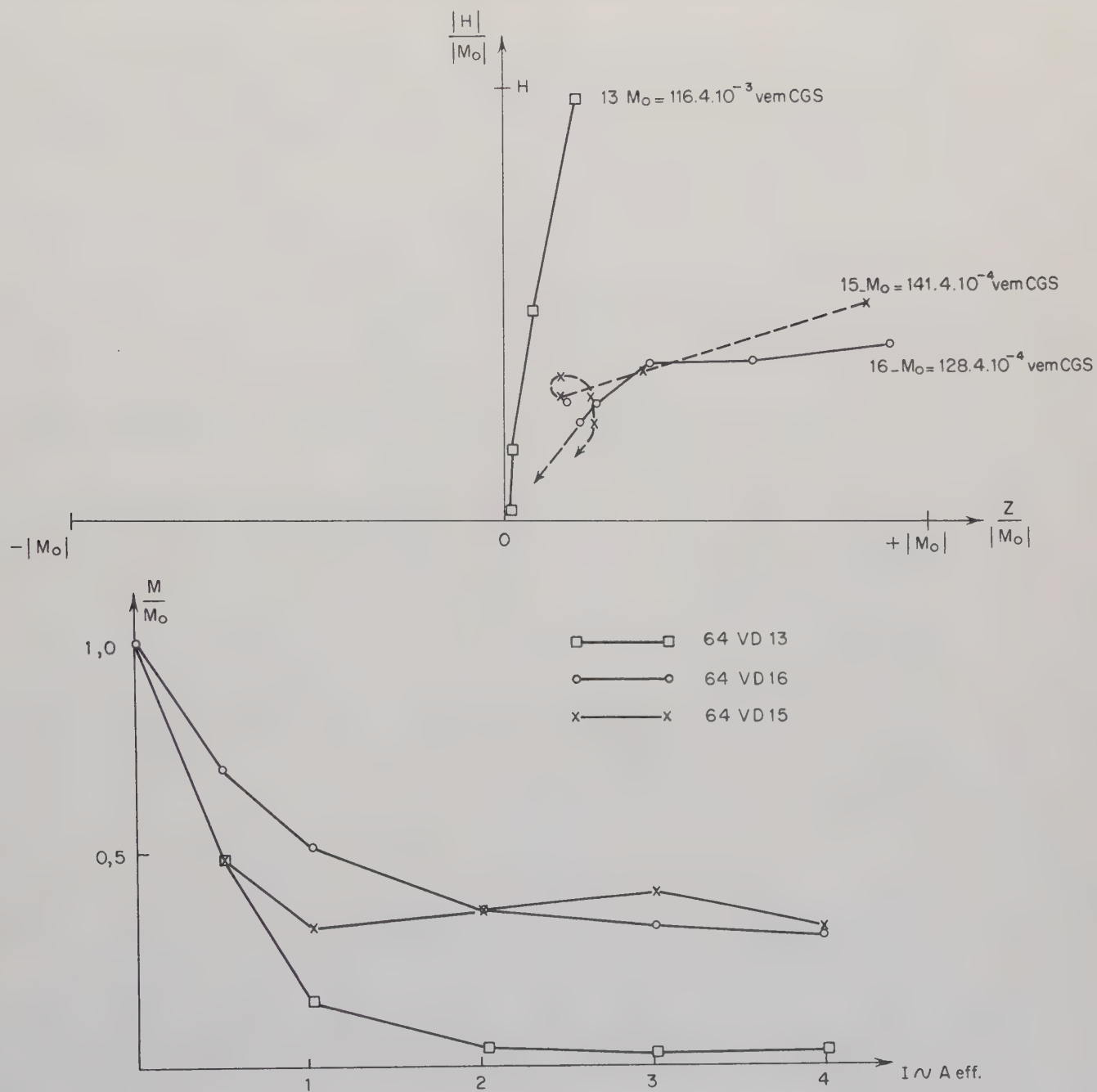


Fig. 71

rencontre beaucoup plus bas dans la rivière. Ces argiles sableuses sont surmontées par une épaisse coulée que nous avons échantillonnée (échantillons 64 VD 26 à 1035 m, 64 VD 27 à 1045 m et 64 VD 28 à 1048 m).

Du point de vue pétrographique, il s'agit de trachyandésite. Dans une pâte formée d'un feutrage de microlites de plagioclases se détachent des phénocristaux d'augite, rares, de petite taille, des phénocristaux de feldspath de grande taille et des fantômes d'amphibole résorbée.

Enfin, après un méplat encombré d'éboulis que l'on rencontre à partir de 1048 m, affleure une nouvelle coulée que nous avons échantillonnée (échantillons 64 VD 23 à 25) plus à l'Est, près du ruisseau de Crouzet. Du point de vue pétrographique, BOULE considérerait qu'il s'agissait de Trachytes supérieurs cartés τ_a .

L'étude en lame mince montre : Dans une pâte de microlites à structure trachytique se détachent des phénocristaux de plagioclases visibles à l'oeil nu.

La suite de la série affleure en amont du ruisseau. Elle comporte, entre 1065 m et 1080 m, une épaisse série de brèches et de tufs. A partir de 1080 m apparaît une formation que nous avons rencontrée jusqu'à 1100 m où elle disparaît sous la couverture végétale qui recouvre le plateau au S.E. de Hugans. Ces niveaux correspondent aux coulées β_0 de BOULE. En lame mince la roche montre : Dans un verre abondant pigmenté en brun apparaissent des microlites de plagioclases, d'augite et d'olivine. La lame est parsemée de phénocristaux d'olivine, abondants, de taille moyenne et de quelques cristaux d'augite.

β) Les données magnétiques.

- Coulée surmontant les argiles sableuses entre 1030 m et 1050 m. Deux des échantillons présentent une aimantation dure. Dans le troisième 64 VD 27, il y a superposition d'une ATR et d'une ARI qui disparaît après une désaimantation à 200 Oersted. L'aimantation thermorémanente peut être caractérisée par les résultats suivants :

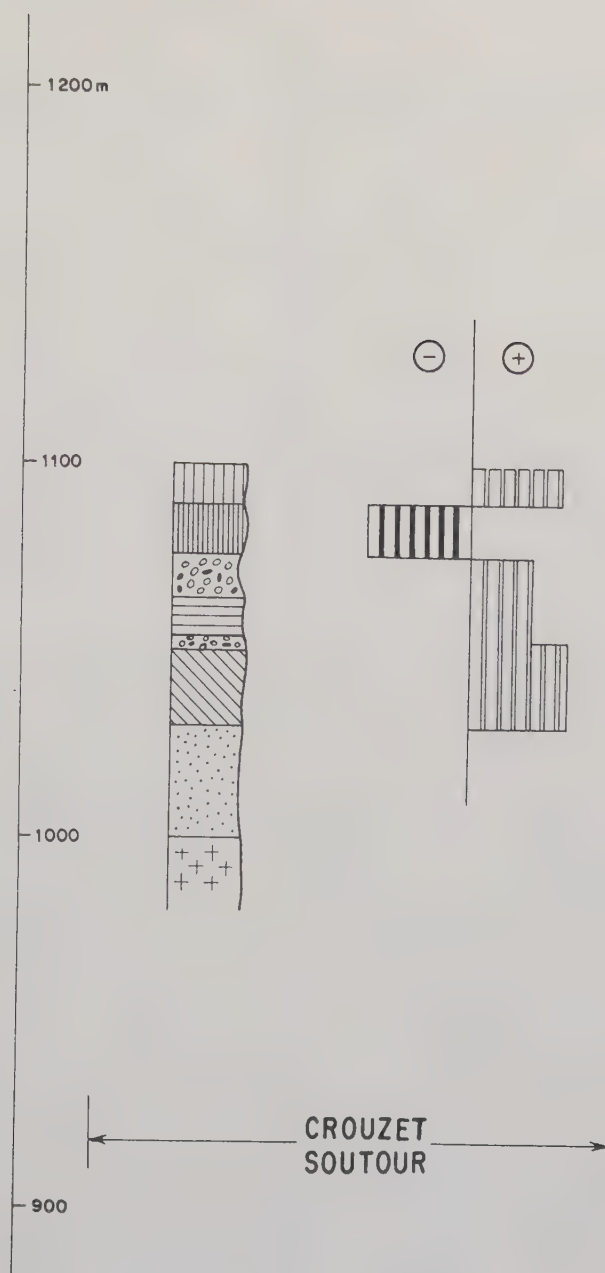


Fig. 72

	I	D	α_{95}
64 VD 26	+ 75°30	40°30 E	
64 VD 27	+ 68°30	84° E	
64 VD 28	+ 58°	82° E	
Résultante	+ 68°30	74° E	18°30

- Deuxième coulée affleurant entre 1050 et 1065 m.

L'échantillon 64 VD 25 montre une aimantation stable que nous assimilerons à une ATR (fig. 73) (aimantation résistante, $M_0 = 530 \times 4 \cdot 10^{-4}$ u.e.m.c.g.s.), au départ.

Les échantillons 64 VD 23 et 64 VD 24, quant à eux, présentent deux aimantations superposées l'une étant attribuée à une ARI et l'autre à une ATR. Toutefois, il semble que la désaimantation nous permet d'arriver aux valeurs proches des valeurs de l'A.T.R. Les paramètres sont les suivants :

	I	D	α_{95}
64 VD 25	+ 39°	109° E	
64 VD 23	+ 53°	31° E ARI	lavage non terminé
64 VD 24	+ 38°	60° E	
Résultante	+ 48°	69° E	?

Nous retrouvons donc ici une valeur très proche de celles obtenues, à 1090 m, près de Grosdo et entre 1070 et 1080 m à Clauzelles. Nous pouvons donc penser que nous avons ici un niveau repère. Toutefois étant donné l'incertitude des mesures, pour affirmer l'existence de ce niveau il faudrait faire une série de prélèvements systématiques très nombreux.

— COURBES DE DESAIMANTATION DE L'ECHANTILLON 64 VD_25 —

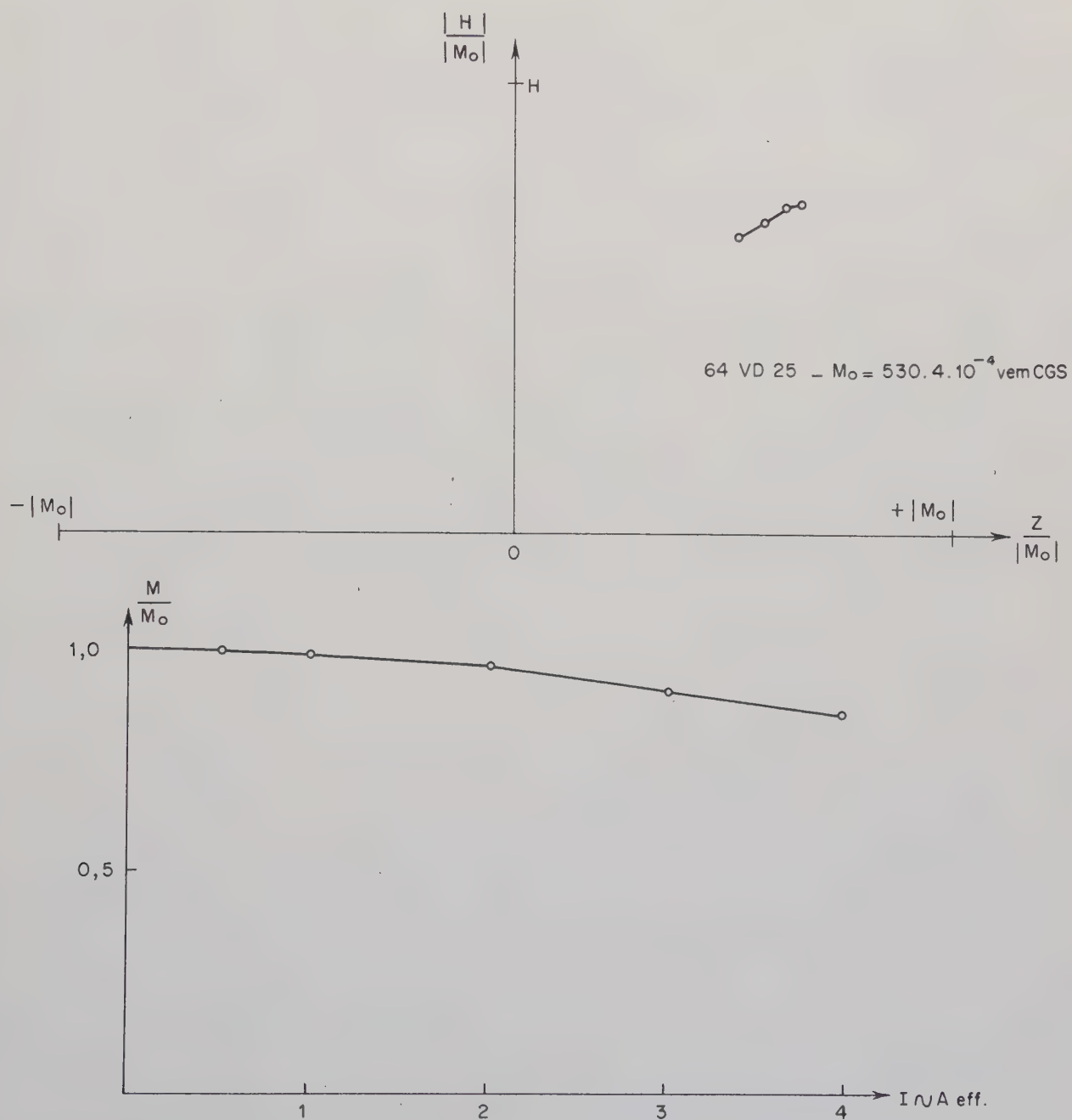


Fig. 73

- Troisième coulée affleurant entre 1080 et 1100 m.

Sur les trois échantillons, deux (64 VD 20 et 64 VD 22) présentent des aimantations dures. Par contre l'échantillon 64 VD 21 présente lui une double aimantation ; mais après disparition de l'ARI on tend vers une ATR. Les paramètres qui caractérisent les aimantations thermorémanentes des trois échantillons sont les suivants :

	I	D	α 95
64 VD 20	+ 50°	7° E	
64 VD 21	+ 65°	43° E	
64 VD 22	+ 43°	3° E	
Résultante	+ 54°	13°30 E	25°

Au niveau du Crouzet nous ne rencontrons, sur le flanc NE, que des aimantations normales. Rappelons que pour les β_a affleurant au niveau du village de Soutour, à 1060 - 1070 m, à l'Ouest du hameau du Crouzet, M. PREVOT avait trouvé une aimantation inverse caractérisée par I = - 71° D = 71° W.

Conclusion :

Au niveau du hameau du Crouzet, sur les argiles sableuses, reposent directement des coulées d'andésilabradérites et des trachytes à aimantation normale qui se raccordent aux niveaux supérieurs du Clauzelles. Les basaltes β_a débutent par une coulée à aimantation inverse à Soutour, surmontée de coulée à aimantation normale (64 VD 20 - 21 - 22).

e) Le secteur des Vastres à Villelonge et Hugans,

La rive droite du Lignon.

Pour BOULE cette zone comporte des basaltes β_b sur-

montés par les basaltes (3). Au Sud, ces deux nappes sont séparées par des niveaux d'andésilabradorites. Les affleurements se présentent, d'une façon générale, dans des conditions très défavorables aux études paléomagnétiques car la couverture végétale est très importante.

Nous avons pu cependant réaliser quelques prélèvements qui nous permettront de tenter une synthèse du plateau qui sépare Rimande de Lignon.

d) Coupe au niveau du village des Vastres. (fig. 74).*

Ce village est dominé au Sud par le plateau atteignant 1140 m qui le sépare de la D 26. Cette surface représente le sommet d'une coulée de basalte qui repose à 1135 m sur un niveau d'argiles rouges et de scories. Le contact est bien visible au niveau de la carrière ouverte en contrebas du calvaire construit au SE des Vastres. Dans l'excavation nous avons pu exécuter un échantillonnage intéressant (éch. 65 AA 07, 08, 09). En dessous on retrouve, au niveau des premières maisons du village à 1120 m, un deuxième niveau d'argiles rouges. Entre 1135 m et 1120 m affleurent çà et là des lambeaux de basaltes très décomposés. Aucune étude paléomagnétique, ni même pétrographique, sérieuse n'a pu être exécutée.

Au Nord du village à 1110 m, peu avant le ruisseau de Lioussel, nous avons pu prélever les échantillons 6 V 23 01, 02, 03, sur un niveau qui correspond probablement aux andésilabradorites cartées par BOULE, et compléter ainsi notre coupe. Les études pétrographiques et paléomagnétiques donnent les résultats suivants :

- Coulée supérieure :

En lame mince on observe : Sur un fond vitreux apparaissent des microlites de plagioclases et d'augite et des phénocristaux d'olivine altérée en Iddingsite. Le faciès est caractéristique des basaltes semi-porphyroïdes.

* Légende page 162.

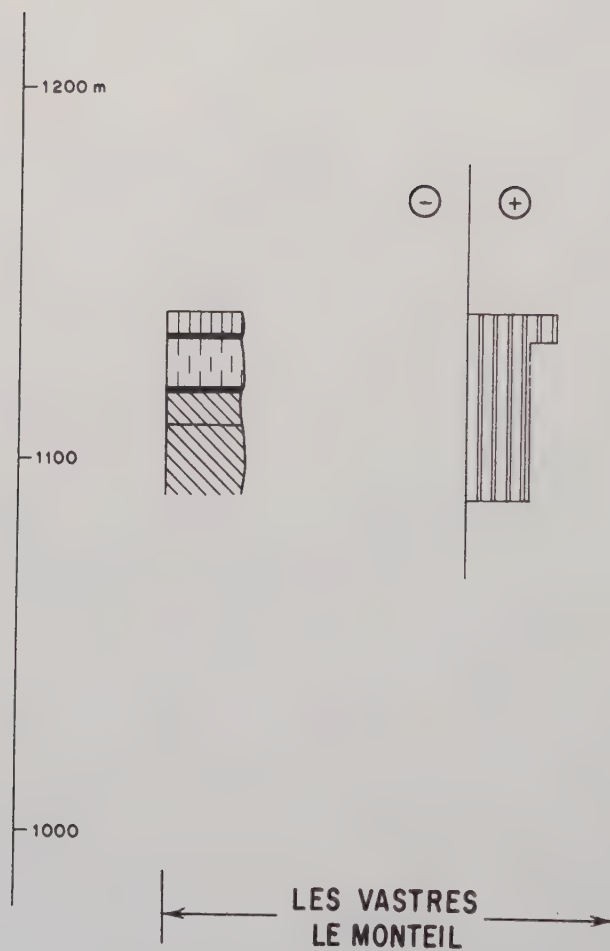


Fig. 74

Du point de vue paléomagnétique les trois échantillons étudiés présentent une aimantation thermorémanente très dure ($\text{Repar} = 0,45$ à 600 Oersted). La direction d'aimantation est caractérisée de la façon suivante :

	I	D	d 95
65 AA 07	+ 59°	7° E	
65 AA 08	+ 57°	10° E	
65 AA 09	+ 57°	20° E	
Résultante	+ 58°	12°30 E	6°

Cette valeur est proche de celle de la coulée supérieure du Crouzet.

- Coulée moyenne entre 1035 et 1020 m.

Aucune étude n'a pu être réalisée.

- Coulée inférieure :

Du point de vue pétrographique nous avons une andésilabradorite.

Les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	d 95
6 V 23 01	+ 40°30	1° 30 W	
6 V 23 02	+ 45°30	1°30 W	
6 V 23 03	+ 43°	7°30 W	
Résultante	+ 43°	3°30 W	5°30

La coulée supérieure montre des directions d'aimantation qui sont très voisines de celles obtenues pour la coulée affleurant entre 1080 et 1100 m au-dessus du Crouzet et nous pouvons

donc admettre ici la continuité de ce niveau, conforme à la morphologie.

(β) Du Monteil à Hugans.

Pour compléter notre collection nous avons exécuter des prélèvements le long de la D 73 peu avant sa rencontre avec l'ancienne voie romaine à 1100 m d'altitude (éch. 65 AA 10, 11, 12).

Cette coulée présente l'aspect pétrographique suivant : Sur un fond marqué par la présence d'un peu de verre, se détachent des microlites de plagioclases et quelques microlites ferromagnésiens. Les phénocristaux d'olivine sont rares et peu développés: il s'agit d'une labradorite.

Les directions d'aimantation sont caractérisées par les valeurs suivantes :

	I	D	δ 95
65 AA 10	+ 49°	55° E	
65 AA 11	+ 47°	69° E	
65 AA 12	+ 45°	55° E	
Résultante	+ 47°	59°30 E	9°

Cette direction d'aimantationserapproche de celle que nous avons trouvée, entre 1050 et 1065 m, au niveau du Cirque de Crouzet. La coulée moyenne du Crouzet se prolongerait donc sous le plateau de Hugans, comme l'avait supposé BOULE*.

Enfin un échantillon prélevé près du hameau du Monteil à 1090 m d'altitude montre que, là encore, l'aimantation thermorémanente doit être normale. Cependant cet échantillon est porteur d'une ARI importante qui n'est pas entièrement détruite par l'action d'un champ alternatif de 800 Oersted . Il ne permet pas de faire un calcul précis de direction.

(γ) De Chagneaux à Villelonge (fig. 75)**

* Recherchant surtout le sens de l'aimantation nous n'avons pas recherché une grande précision. Une étude détaillée pourrait peut être permettre de renforcer cette conclusion.

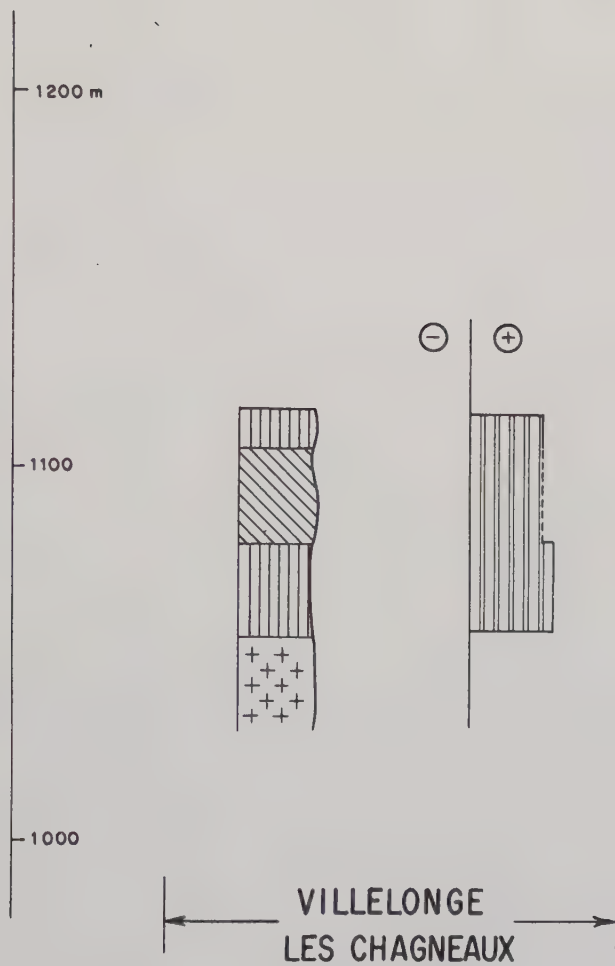


Fig. 75

- Un lot de trois échantillons a été prélevé à 1110 m d'altitude près du hameau de Chagneaux le long de la D7. Cet affleurement correspond à des basaltes β_c dont l'analyse pétrographique donne les résultats suivants : sur un fond de microlites se détachent des phénocristaux d'olivine altérés. Le faciès général correspond bien à celui d'un basalte $\beta_{..}$.

Les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	d 95
6 V 23 04	+ 39°	7°E	
6 V 23 05	+ 57°	140°W	
6 V 23 06	+ 28°	100°E	
Résultante	Positive		

Il est évident que l'aimantation est normale mais les ARI jouent encore un rôle. On ne peut pas calculer une direction moyenne.

- Il ne nous a pas été possible de faire des prélèvements sur des andésilabradorites qui s'intercaleraient entre le basalte β'_b de Villelonge et le basalte β_c des Chagneaux.

- Par contre, à Villelonge, au niveau du village, et reposant directement sur le granite affleure une coulée de basaltes β'_b . Le contact granite-basaltes s'établit aux alentours de 1150 m. La lave, prélevée à 1160 m, a l'aspect pétrographique suivant :

Dans une pâte à structure fluidale soulignée par des microlites de plagioclases bien développés se détachent des phénocristaux d'olivine et d'augite de petite taille. La roche est parsemée de vacuoles et de veinules de calcite. Il s'agit d'un basalte compact.

L'étude paléomagnétique montre que les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	d 95
64 VD 01	+ 76°	10° W	
64 VE 02	+ 39°	0°	
64 VE 03	+ 51°	5° E	
Résultante	+ 55°	0°30 E	29°30

Nous noterons que si les échantillons 64 VE 02 et 03 présentent des aimantations thermorémanentes typiques relativement pures, l'échantillon 64 VE 01 est marqué par la présence d'une ARI qui n'est pas totalement détruite.

Y) Conclusion : Structure des édifices volcaniques entre Rimande et Lignon.

D'après les données que nous venons de recueillir, il est possible d'esquisser la stratigraphie des coulées qui recouvrent le plateau qui sépare La Rimande et le Lignon.

Sur la bordure Sud du plateau, le long de la D 26 les formations volcaniques débutent au niveau de Crosdo par des coulées à aimantation inverse qui sont surmontées à 1095 m par des coulées à aimantation normale couvrant toute la colline qui sépare le Crosdo des Vastres. Au niveau du Cirque de Clauzelles les coulées à aimantation inverse demeurent à la base de la série et les coulées à aimantation normale terminent la série. Sur la figure 76 que nous avons reconstituée à partir de la carte IGN au 1/25 000 et en tenant compte des parentés obtenues à partir du sens de l'aimantation,* nous pouvons dire que la nappe de basaltes à aimantation inverse est continue depuis Crosdo jusqu'à Clauzelles. Tous les niveaux que nous avons étudiés semblent caractérisés par une déclinaison Est**. La nappe de basaltes à aimantation normale qui recouvre ce système est, quant à elle,

* Et aussi des continuités morphologiques.

** Une étude détaillée permettrait de juger de la validité de l'indice.

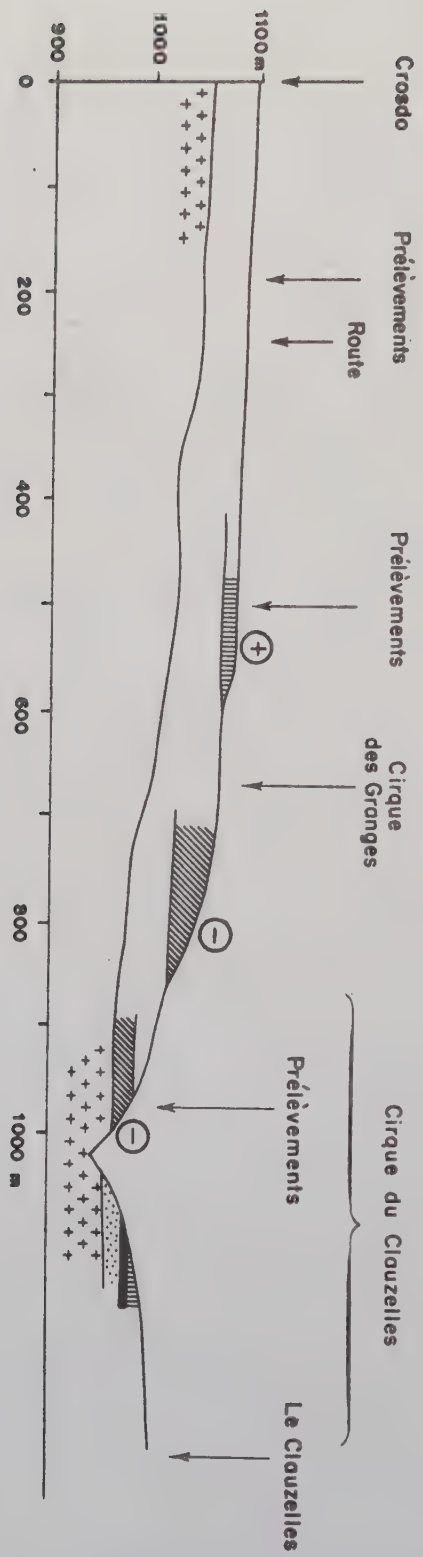


Fig. 76

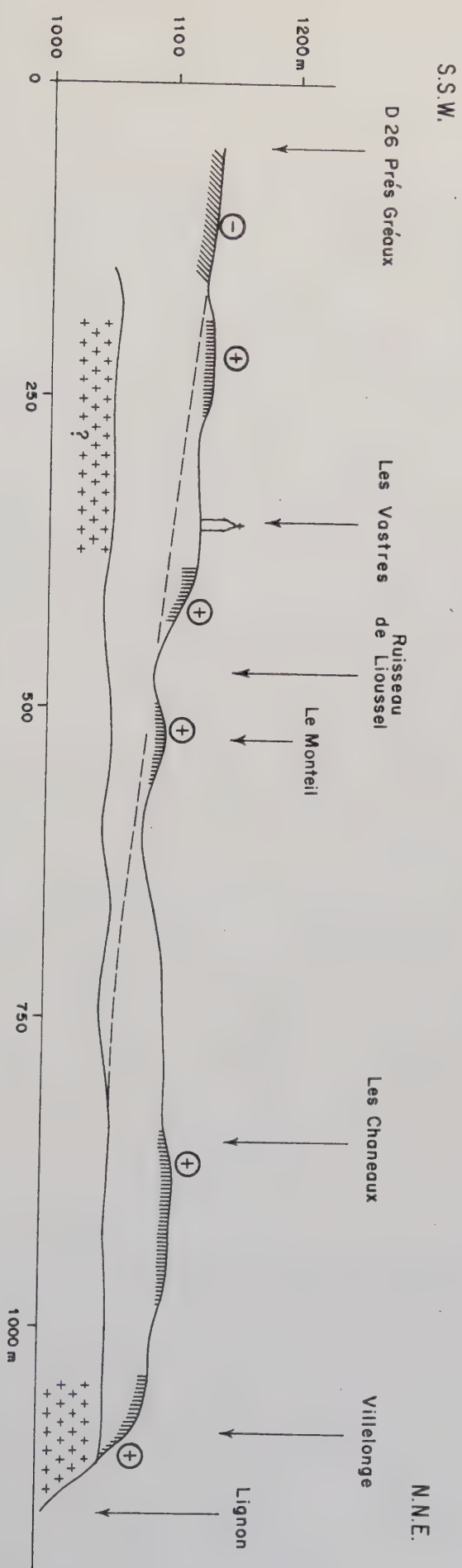


Fig. 77

caractérisée par une déclinaison voisine de 50° Est et une inclinaison proche de 30°. Il semble bien que nous ayons ici deux unités superposées, que nous pouvons assimiler à des *strates*. La figure 76 montre l'existence d'un léger pendage en direction de l'Est.

Au niveau du Crouzet, soit au Nord de la coupe précédente, les coulées à aimantation inverse ont complètement disparu et on ne voit apparaître que des coulées à aimantation normale que l'on rencontre partout ensuite : à Villelonge, au Chagneaux, aux Vastres, c'est-à-dire dans toute la partie Nord du massif (fig. 77). Seule une coulée de basalte β_1 à aimantation inverse s'intercale dans la série au niveau du Soutour. La coupe NW-SE réalisée entre le ruisseau de Liboussel et l'affluent de la Rimande (fig. 78) qui passe au-dessous de Crosdo montre bien les rapports de ces unités.

Le secteur compris entre La Rimande et Le Lignon, est donc caractérisé par l'existence de 5 unités de polarités différentes; à savoir :

- A la base, un niveau à aimantation normale qui n'affleure que dans la partie Nord (Villelonge).
- Ce niveau est relayé par un niveau à aimantation inverse qui se développe vers le Sud où il repose directement sur le granite et où il est surmonté par un niveau à aimantation normale.
- Un niveau à aimantation inverse qui semble limité à la région du Soutour s'intercale, dans la partie septentrionale, à la base des β . .
- Enfin la série se termine par un niveau à aimantation normale.

Nous devons maintenant définir la relation entre les coulées à aimantation inverse trouvées au croisement de la N 909 et de la D 26 et le niveau de base que l'on rencontre au niveau de Crosdo et du Clauzelles. Nous avons réalisé une coupe Est-Ouest (fig. 79) entre le Cirque de Clauzelles et le croisement en repor-

COUPE ENTRE LES VASTRES ET CROSDO

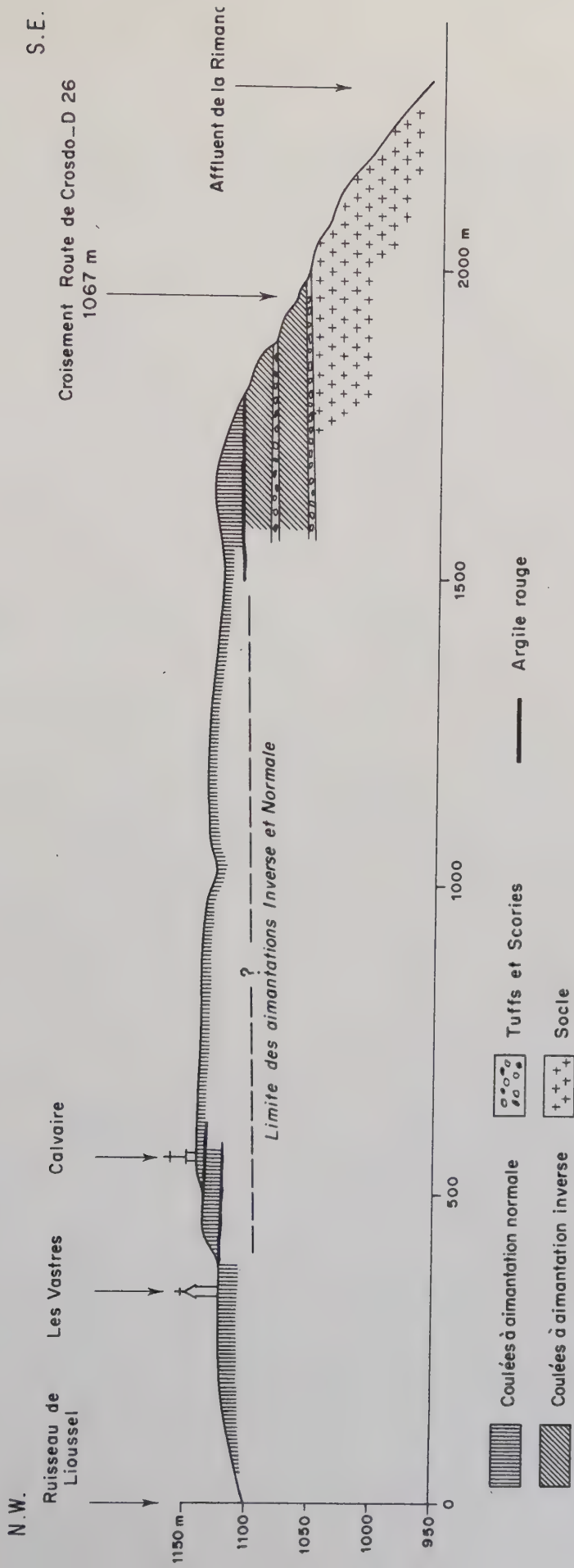


Fig. 78

tant au niveau des affleurements de la nature des aimantations que nous avons reconnues. Ce schéma montre très clairement que les coulées à aimantation inverse que nous avons rencontrées au-dessus du croisement correspondent très certainement aux coulées à aimantation inverse du Crosdo et du Clauzelles, confirmant bien le pendage que nous avons pu observer. Ce pendage peut s'interpréter soit par l'existence d'un léger basculement postérieur à l'émission des laves, soit simplement par la ligne de pente normale d'un édifice effusif à caractère hawaïen (la pente étant de l'ordre de 5 à 10°). Signalons d'autre par que les coulées que nous avons rencontrées au Nord-Est de la forêt de Payne sont recouvertes en légère discordance par des trachytes supérieurs comme les coulées à aimantation inverse du Clauzelles. Nous retrouvons donc bien là la parenté que nous venons d'établir.

Les laves ont recouvert une surface légèrement ondulée qui pend vers le Sud puisqu'elle affleure à 1050 m à Villelonge, 1000 m au Crouzet et 850-860m vers le Clauzelles et St-Clément. Ceci montre bien qu'il est difficile de parler de vallée de St-Clément mais qu'il est préférable d'envisager l'existence d'une surface, légèrement ondulée, entaillée de cirques de faible amplitude (au niveau du Clauzelles, du Crouzet, de Gourgouras) dans lesquelles subsistent encore des lambeaux d'argiles miocènes sur lesquelles se sont accumulés des niveaux de lignites. Ces lignites auraient pu être d'ailleurs formés à la suite des premières séries d'éruption.

Enfin il convient de préciser les rapports entre les coulées à aimantation inverse qui forment la base de la série au Sud et les coulées à aimantation normale qui les relaient au Nord. Le Panorama interprétatif de la photo 7 nous conduit à dire que le niveau inverse qui affleure au niveau du croisement (N500 - D16) se prolonge vers le Nord pour s'intercaler, à l'Est de Abries Bas, sur la rive droite du Lignon, entre les coulées de base des Chazallets et les coulées à aimantation normale qui recouvrent le plateau

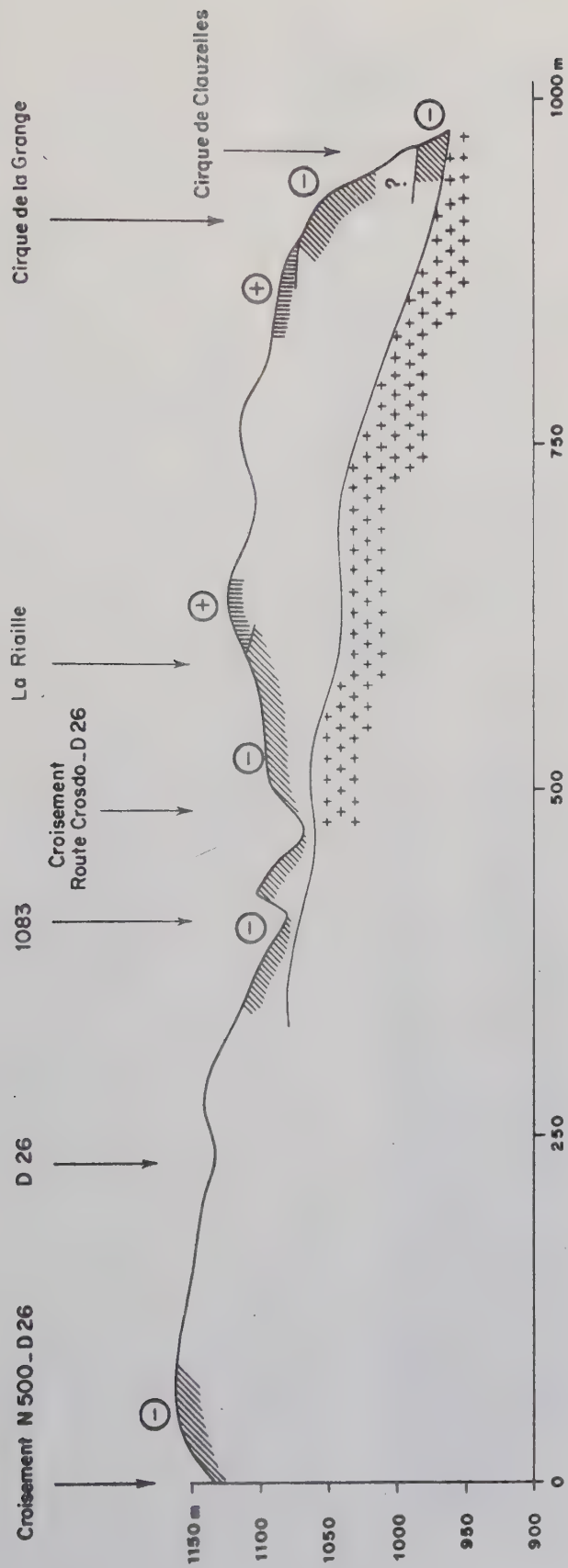


Fig. 79

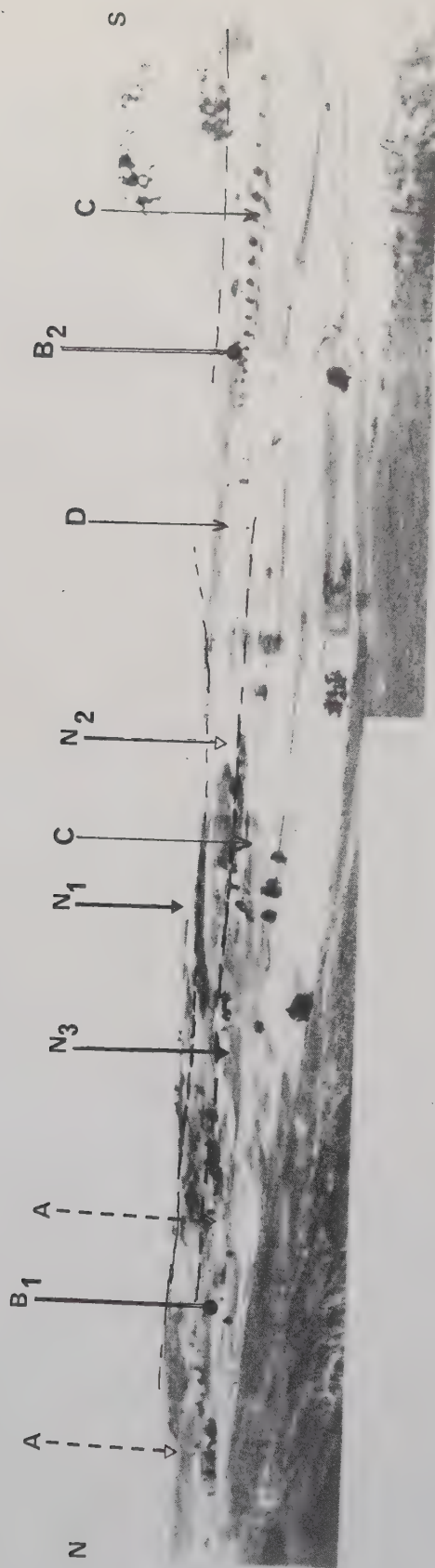


Photo n° 7 - La rive droite du Lignonvue depuis Fay sur Lignon.

A - Vallée du Lignon

B¹ - Prélèvements paléomagnétiques de Abries Bas
(64 VE 04-05-06)

B² - Prélèvements paléomagnétiques - Croisement N 500- D26
(65 A A - 01 à 06)

C - Route N 500.

D - Route D 26.

N¹ - Niveau normal des Vastres.

N² - Niveau inverse de Gréaux.

N³ - Niveau normal de Base.

des Vastres. Il en résulte que, au moins ~~une~~ partie, le niveau à alimantation normale rencontré au Nord du Plateau des Vastres est probablement antérieur à la série inverse de Crosdo et de Clauzelles.

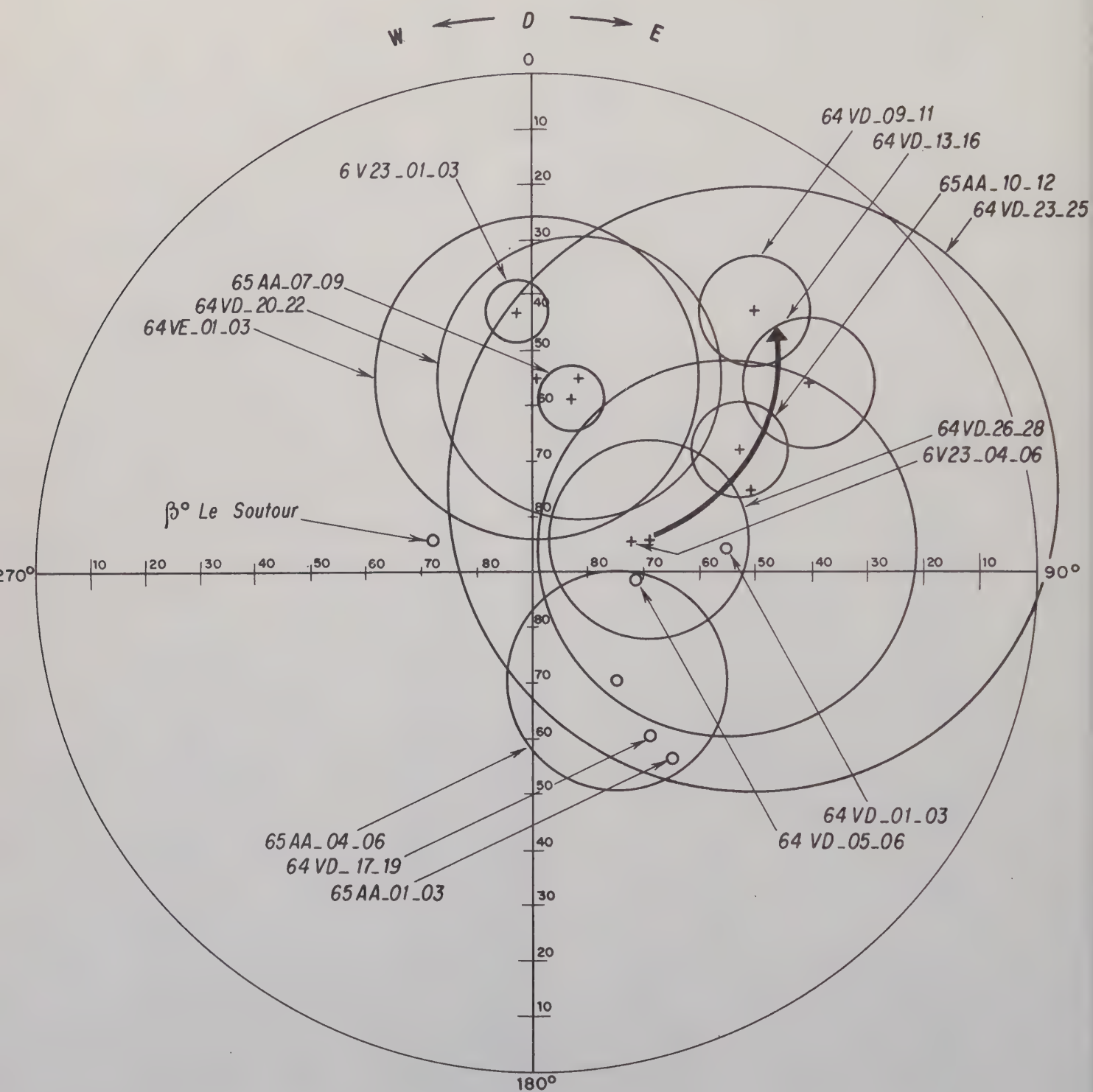
Cette superposition visible à l'Ouest du plateau n'apparaît pas à l'Est car entre le Crouzet et le Clauzelles existe un Monadnock granitique, recouvert par la coulée de trachyte du Clauzelles. Ce monadnock a joué le rôle de barrage pour les laves qui coulaient sur la surface définie précédemment. Les laves qui constituent la base du cirque du Crouzet devaient venir du Nord ou du Nord Ouest tandis que celles du cirque de Clauzelles devaient venir du Sud Ouest. L'ensemble du secteur St-Clément - Les Vastres jouait donc le rôle de bassin de réception pour les éruptions venant de l'axe du Massif Mezenc-Meygal. Il s'agissait d'un vaste bassin à fond ondulé, parsemé de Monadnock. Dans les dépressions pouvaient s'accumuler arènes et lignites. C'est une morphologie très comparable à celle que nous avons décrite sur le versant oriental des Monts du Forez (C. BOBIER 1960). Les premières éruptions ont du venir du Nord Est, le cirque du Clauzelle restait encore dégagé. Puis les éruptions venant du Sud Ouest ont comblé le cirque de Clauzelle ennoyant le barrage. Les éruptions trachytiques venant du Sud-Ouest ont pu ultérieurement s'étaler jusqu'au Crouzet.

Le paléomagnétisme apporte la preuve que les cirques du Clauzelle et du Crouzet n'ont pas joué le rôle de réceptacle simultanément.

Mais il est difficile de dire si les coulées du Crouzet sont antérieures ou postérieures à celle du Clauzelle.

Pour essayer de préciser les parentés entre les diverses coulées nous avons reporté sur la fig. 80 les directions moyennes calculées à partir des résultats obtenus. Cette figure donne une idée de l'imprécision des directions ainsi calculées qui, dans la plupart des cas, ne peuvent pas être considérées comme caractéristiques.

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION DU SECTEUR DES VASTRES



Variation de la direction d'aimantation dans le niveau à aimantation normale.

Nous n'avons d'ailleurs pas recherché la précision dans la direction puisque c'est le sens de l'ATR qui nous importait. Malgré ces défauts cette figure, si elle ne permet pas de tirer des conclusions, va nous permettre de préciser ce que pourrait être un programme de travail futur ou plus exactement les problèmes qu'une campagne de prélèvements nombreux et systématiques permettrait peut être de résoudre.

- Coulées à aimantation inverse :

- Les coulées inverses du croisement (N500 - D26) ont une direction d'aimantation qui semble proche de la moyenne calculée pour la coulée (64 VD 17-19) du Clauzelle^s. Les séries 64 AA 04-06 et 64 AA 01-03 seraient donc équivalentes de la coulée moyenne de Clauzelles. Une série de prélèvements systématiques sur ces affleurements et sur le prolongement vers Abriès Bas des coulées 64 AA 01 à 06 permettrait de préciser ce point.

- Les coulées 64 VD 01 - 03 et 64 VD 05 - 06 donnent des directions très proches. Il serait utile de préciser cette direction et de la comparer avec la direction de la coulée inférieure du Crouzet.

- Coulées à aimantation normale :

- La direction d'aimantation moyenne calculée pour le site des Chagnaux n'est pas significative. Par contre l'échantillon 66 V 23 04 donne une direction (+ 39° 7°E) proche de celle des coulées du Ruisseau de Lioussel (66 V 23 01-03). Cette parenté mériterait d'être précisée.

La continuité de la coulée supérieure du plateau des Vastres qu^e suggère la morphologie est soutenue par la parenté des directions d'aimantations des niveaux supérieurs des Vastres (site 65 AA 07-09) et du Crouzet (site 64 VD 20-22). Une étude précise permettrait de renforcer l'hypothèse d'une continuité entre les sites 64 VD 23-25 et 65 AA (10-12) d'une part et entre les sites 64 VD 09-11 64 VD 13-16 d'autre part.

Par contre l'écart entre les directions d'aimantation des sites 64 VE 01-03 et 64 VD 26-28 est significatif et plaide en faveur d'un décalage dans le temps entre la coulée de base de Villelonge et celle du Crouzet. Par contre la variation continue de la direction de l'aimantation observée dans la série du Crouzet nous incite à penser que cette continuité est le résultat d'une mise en place dans une même période de champ Normal. Il en résulte que les coulées du Crouzet dateraient de la même période de champ normal que les trachytes de Clauzelles et seraient postérieures aux coulées à aimantation inverse de Clauzelles.

Cette hypothèse doit bien sûr être confirmée par des données absolues car elle est encore très fragile et ne doit pas être considérée comme un fait acquis. Elle nous conduit à supposer que les laves de la Région des Vastres recouvrent en fait cinq périodes de champ géomagnétiques.

- 1) Une période Normale Contemporaine des β'_b de Villelonge.
- 2) Une période Inverse contemporaine des β'_b et des $\alpha'\lambda'$ de Greaux, Crosdo et le Clauzelles.
- 3) Une période normale avec mise à jour des $\alpha'\lambda'$ des Vastres et du Crouzet et des trachytes de Crosdo et du Clauzelle.
- 4) Une période inverse avec les β_o du Scutour.
- 5) Une période normale avec les β_o du Plateau.

Nous pouvons maintenant essayer de raccorder la série de St-Clément et la série des Vastres-Villelonge.

A St-Clément au niveau basal à aimantation normale qui renferme des trachytes inférieurs et des andésilabradorites, succède une épaisse série de coulées d'andésilabradorites à aimantation inverse. Le tout est couronné par des laves à aimantation normale puis des trachytes supérieurs à aimantation normale discordants.

La présence, aux Clauzelles et dans la forêt de Payne, de trachytes supérieurs étroitement liés aux niveaux à aimantation normale conduit à considérer que les niveaux à aimantation inverse, sous-jacents, se raccordent aux niveaux à aimantation inverse de la série de St-Clément. Il apparaît ainsi que depuis St-Clément jusqu'à Villelonge sur une surface ondulée, mais pendant en moyenne vers St-Clément, s'est édifié un appareil volcanique complexe. Les premières coulées à aimantation normale venant du Nord-Est auraient atteint Villelonge

tandis que les laves venant de la région du Mézenc et de St-Clément auraient d'abord comblé les zones les plus basses (émission de trachytes inférieurs et d'andésilabradorites inférieurs à aimantation normale de St-Clément). A cette série de base normale succède une série à aimantation inverse qui atteint le Clauzelles. Vient ensuite la série à aimantation normale qui se développe du Crouzet jusqu'aux Vastres sous la forme d'andésilabradorites et de basaltes à laquelle succèdent les trachytes supérieurs. Enfin après une légère passée à aimantation inverse, viennent les basaltes semi-prophyroïdes à aimantation normale que l'on rencontre près des Vastres et des Chagneaux. Nous reviendrons plus loin sur cette synthèse.

5) Le versant gauche du Lignon. Etude détaillée de la zone Champagnac-Champclause.

Nous dénommons ainsi le triangle qui est situé au Nord de Fay-sur-Lignon (fig. 81) limité par la D 26, la D 15 et la N 500. De façon simplifiée, la topographie présente l'aspect d'un plan incliné qui pend de l'Ouest où il atteint 1250 m au niveau de Champclause vers l'Est où il est interrompu à 1150 m d'altitude par la falaise qui jalonne la rive gauche du Lignon.

Sur ce plan se dégage un relief qui forme la cote 1280m, près du hameau de Champagnac au N-E de Fay-sur-Lignon, que nous appellerons le puy de Champagnac.

Deux vallons très évasés, d'orientation Est-Ouest, remplis d'alluvions récentes, où serpentent deux affluents du Lignon (Ruisseau des Merles au Nord. Ruisseau de Surennne au centre) complètent un paysage par ailleurs couvert de prairies.

Du point de vue pétrographique, M. BOULE y décrit essentiellement des basaltes compacts et des basaltes semi-prophyroïdes.

Pour préciser la structure de l'ensemble, nous avons

tenté de réaliser trois coupes aussi complètes que possible. La première sur la rive gauche du Lignon, la seconde entre le puy de Champagnac et le hameau des Merles, la dernière entre Champ-clause et ~~Portmourette~~.

a) Coupes sur la rive gauche du Lignon. (photo 8)

Depuis le hameau de Abriès-Bas au Sud jusqu'à Bosméa au Nord, la vallée du Lignon est limitée par une falaise, particulièrement nette au niveau des hameaux du Petit et du Grand Crouzet. Entre ces deux hameaux, elle est d'ailleurs franchie en cascades par le ruisseau de Surennne. A partir de Bosméa, elle oblique, en s'estompant, vers le N-W pour rejoindre la barre rocheuse qui encadre le ruisseau des Merles près du hameau du même nom. Nous avons réalisé une série de prélèvements le long de cette formation pour en vérifier l'homogénéité.

α) Le premier lot a été prélevé près du hameau de Abriès-Bas à 1110 m d'altitude. En lames minces la roche montre un faciès de basalte compact avec phénocristaux d'augite et d'olivine altérée en iddingsite et serpentine. Les mesures magnétiques montrent que l'aimantation normale est caractérisée par les directions suivantes :

	I	D	α 95
64 VE 04	+ 35°	100° W	
64 VE 05	+ 37°	90° W	
64 VE 06	+ 50°	85° W	
Résultante	+ 41°	92° W	15°

β) Le deuxième point de prélèvement se situe au dessus du hameau du Grand-Crouzet. Sur la nappe de basalte que nous avons échantillonnée à Abriès et qui se continue jus-

Position des prélèvements dans le secteur Champagnac Champclause

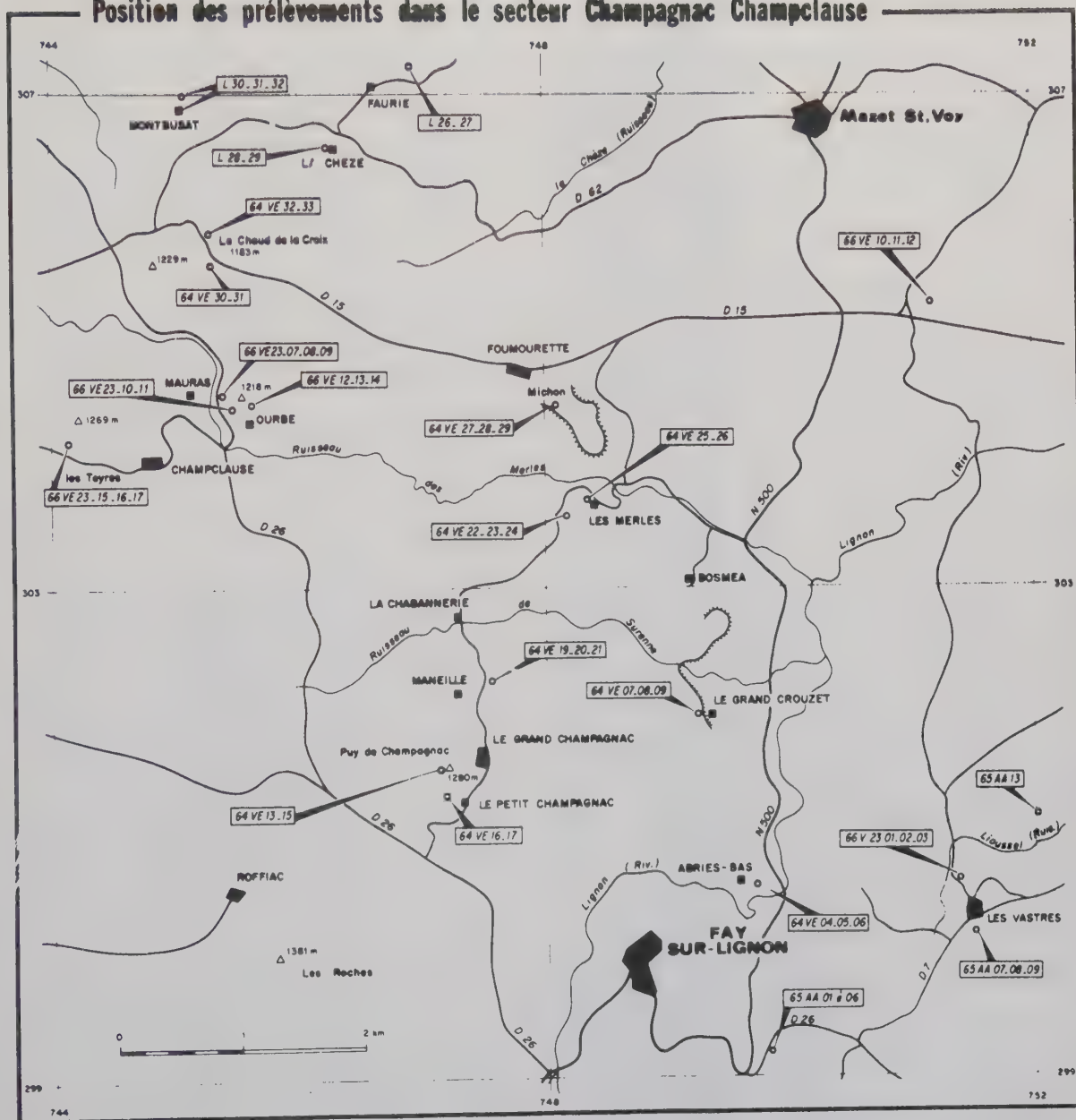


Fig. 81

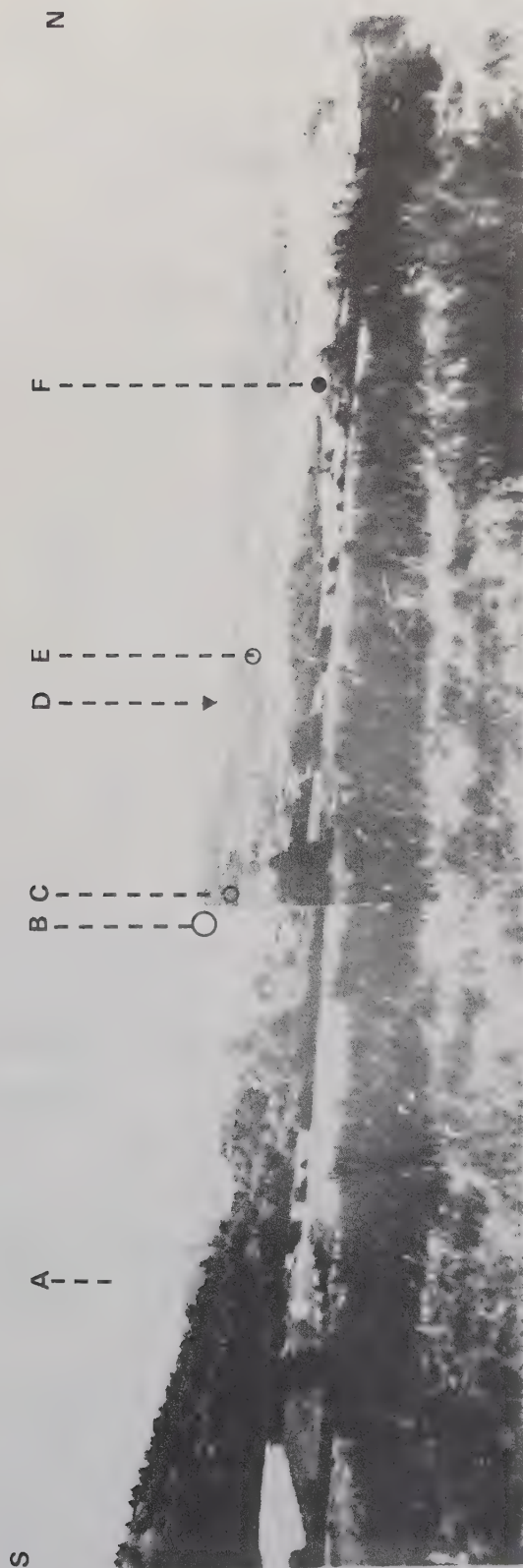


Photo n°8 - La rive gauche du Lignon vue depuis
le plateau des Vastres.

- A - Puy de Champagnac.
- B - Prélèvements paléomagnétiques 64 VE 07 à 09.
- C - Le Grand Crouzet.
- D - Ruissseau de Surennne.
- E - Le petit Crouzet.
- F - Vallée du Lignon.

qu'au niveau du Grand-Crouzet affleure à 1125 m une coulée beaucoup plus réduite séparée de la précédente par une couche de scories. Les prélèvements ont été exécutés le long du chemin qui franchit la barre rocheuse en arrière du Grand-Crouzet.

En lame, la roche présente l'aspect d'une trachyandésite. Les microlites de feldspath sont très développés tandis que les ferromagnésiens réduits sont rares. Les phénocristaux sont absents. Il ne s'agit donc pas d'un basalte compact mais plutôt d'une trachyandésite.

L'étude paléomagnétique révèle que cette coulée porte une aimantation inverse. Deux échantillons sont caractérisés par une aimantation thermorémanente typique que l'on retrouve après lavage magnétique sur le troisième échantillon. Les directions sont les suivantes :

	I	D	d 95
64 VE 07	- 35°	169°E	
64 VE 08	- 49°	165°E	
64 VE 09	- 40°	176°E	
Résultante	- 41°30	170°30E	12°30

8) Le dernier point d'échantillonnage se situe dans le hameau des Merles à 1120 m d'altitude. L'analyse pétrographique révèle que la lave est bien constituée par un basalte compact comparable à celui d'Abriès-Bas. Les phénocristaux d'olivine altérée sont prédominants.

L'aimantation est ici normale et l'on trouve sur les deux échantillons étudiés les directions suivantes :

	I	D	α 95
64 E 25	+ 32°	116° W	
64 E 26	+ 32°	120° W	
Résultante	+ 32°	118° W	

La direction d'aimantation est donc très proche de celle que nous avons rencontrés à Abriès-Bas, ce qui confirme bien l'homogénéité de la base de la barre qui souligne la rive gauche du Lignon.

b) Du Puy de Champagnac aux Merles et Fomourette.

α) Le sommet de la butte de Champagnac est constitué par des laves que BOULE rapportait aux basaltes semi-porphyroïdes. En fait la roche renferme des phénocristaux de pyroxène particulièrement visibles ce qui l'apparente plutôt à du basalte porphyroïde β_a . Cette coulée sommitale, qui repose sur un niveau d'argiles rouges visibles, au S-E du puy, à 1260 m d'altitude, pend légèrement vers le Sud. Une petite carrière entaillée au Nord de la D 154, sur le versant occidental du puy de Champagnac, montre le passage régulier et progressif des basaltes compacts sans phénocristaux de pyroxène aux basaltes à phénocristaux de pyroxène. Il semble que le début de l'éruption soit marqué par l'émission des basaltes sans phénocristaux, ceux-ci n'apparaissant qu'avec les laves terminales. La différence pétrographique serait due essentiellement à un début de différenciation par gravité au sein de la chambre magmatique. La partie supérieure de la chambre, dépourvue de phénocristaux est émise en premier et donne des basaltes compacts, tandis que la fin de l'éruption fait apparaître la base de

la poche enrichie en phénocristaux de pyroxène. Ces constatations montrent bien la difficulté qu'il y a, à comparer les basaltes à pyroxène et les basaltes sans pyroxène. En lame mince, la roche présente les caractères suivants :

Dans une pâte formée de verre et de microlites de petite taille se détachent des agrégats de cristaux d'augite et des fantômes de hornblende résorbée. L'olivine est rare. La roche est donc bien à rattacher aux basaltes compacts et porphyroïdes et non aux basaltes semiporphyroïdes.

L'étude paléomagnétique réalisée sur trois échantillons prélevés à 1270-1280 m donne les résultats suivants :

	I	D	d 95
64 VE 13	+ 53°	2° E	
64 VE 14	+ 49°	15° E	
64 VE 15	+ 50°	1° W	
Résultante	+ 51°	5°30 E	9°

Nous noterons ici la remarquable cohérence de l'ensemble des résultats. Il semble bien qu'après disparition d'une légère aimantation rémanente visqueuse nous atteignons l'ATR, qui serait ici une aimantation thermorémanente extrêmement douce. (fig. 81bis) Deux échantillons prélevés dans la carrière du flanc Sud du puy de Champagnac donnent des inclinaisons de + 49° et + 50°. La déclinaison n'a pu être calculée par défaut d'orientation.

β) Sur le flanc Sud, les coulées inférieures ne sont pas visibles. Par contre, si partant du puy de Champagnac, nous nous déplaçons vers le Nord-Ouest jusqu'au hameau de Maneille, nous trouvons, séparé de la coulée supérieure par un niveau d'argiles rouges et de tufs déjà signalé à 1260 m,

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 64 VE (13 - 14 - 15)

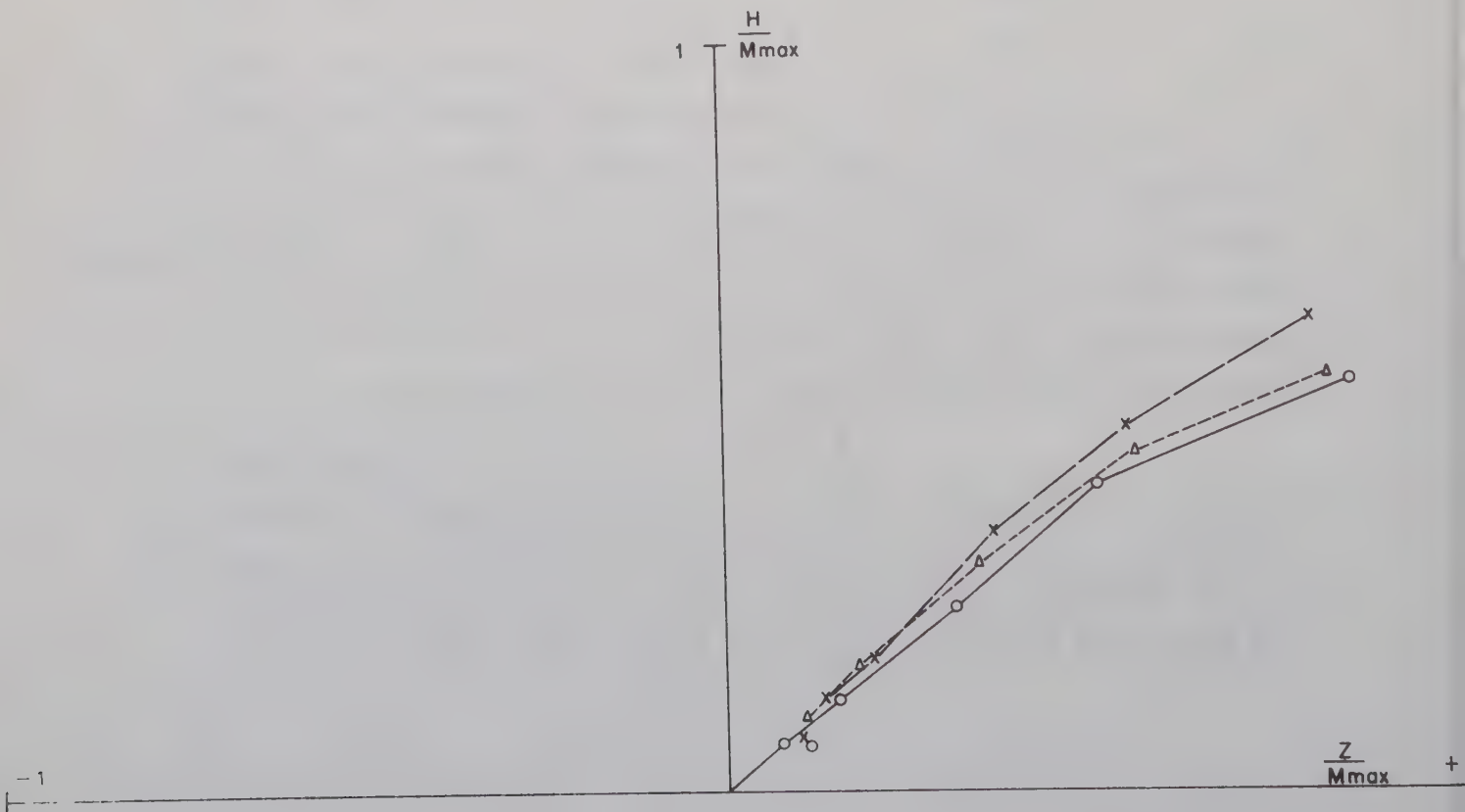
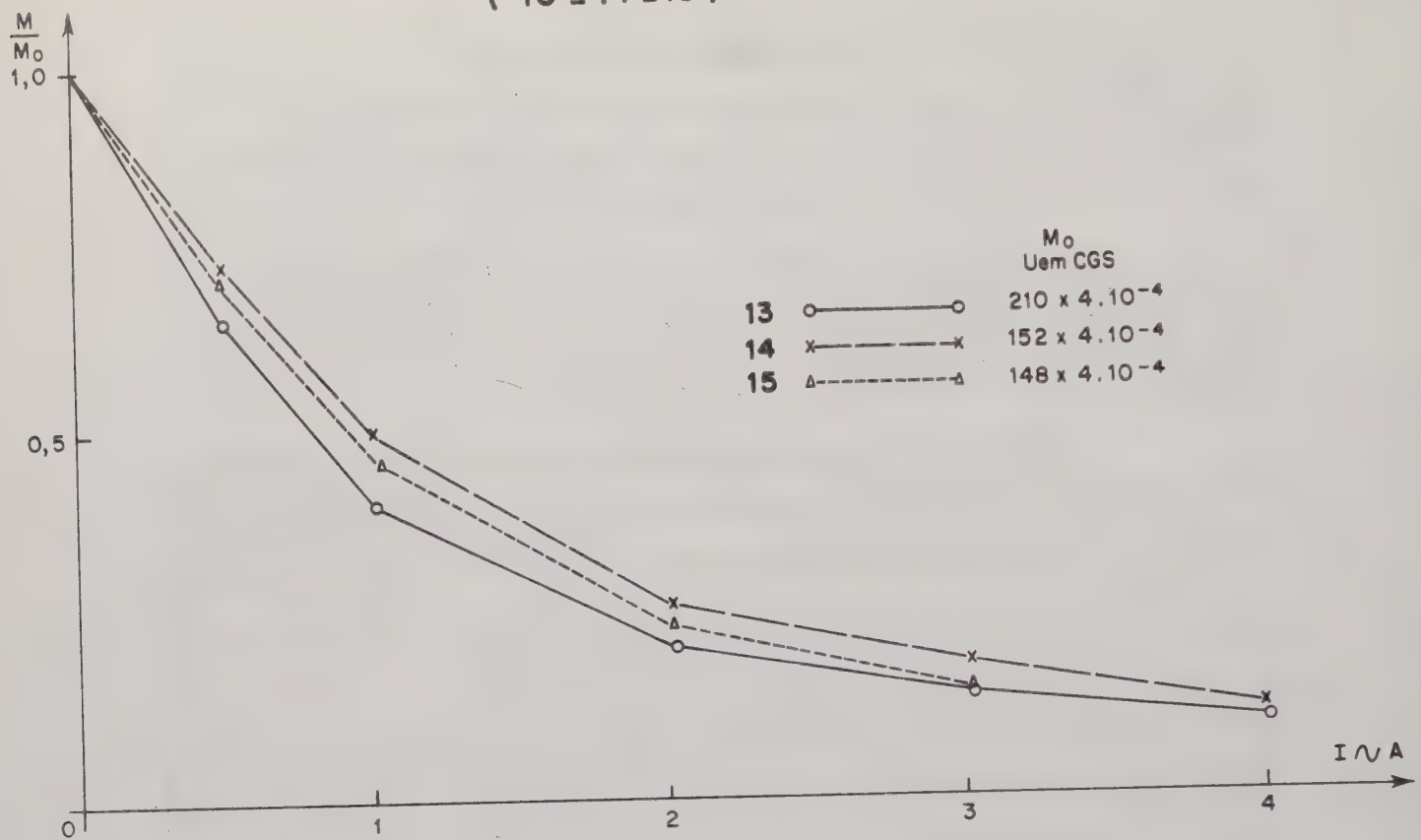


Fig. 81 bis

un niveau de basaltes compacts qui semble se prolonger jusqu'à l'altitude de 1220 m. Malheureusement, masquée par la couverture végétale, la roche n'apparaît que çà et là et nous n'avons pu trouver un affleurement où elle soit avec certitude en place, ce qui interdit une étude magnétique sérieuse.

Par contre, nous avons pu faire des prélèvements plus bas, à 1170 m, dans une petite carrière ouverte à droite de la D 154 légèrement au Nord-Est de Maneille (échantillons 64 VE 19, 20 et 21). La roche présente en lame mince les caractères suivants :

Sur un fond de microlites de petite taille se détachent des phénocristaux d'olivine altérée en Iddingsite. Ces phénocristaux sont petits mais très nombreux. La roche est à rattacher aux basaltes semi-porphyroïdes.

Les directions d'aimantation sont :

	I	D	α 95
64 VE 19	+ 29°30	28° E	
64 VE 20	+ 45°30	16° E	
64 VE 21	+ 50°	10° E	
Résultante	+ 42°	19° E	19°30

X) Un échantillonnage a été réalisé à 1150 m à l'Est de la route qui va de la Chabannerie aux Merles près du point coté 1140 m. Il s'agit de basalte compact dont l'étude pétrographique donne les résultats suivants :

Pâte formée de microlites de plagioclases calciques et de ferromagnésiens réduits. Quelques rares phénocristaux d'olivine et d'augite mais très petits.

L'aimantation est normale et les directions obtenues sont caracté-

risées par les paramètres suivants :

	I	D	d 95
64 VE 22	+ 38°	19° W	
64 VE 23	+ 47°	27° W	
64 VE 24	+ 40 °	12° W	
Résultante	+ 42°	19° W	11°

Cette coulée, dont la base se situe à 1130 m, surmonte celle que nous avons rencontrée au niveau des Merles et évoquée dans le paragraphe précédent.

§) Supportant le village de Fournourette et formant un plateau limité par des falaises, entre la ferme de Michon et le hameau de l'Aulagnier-Petit, une épaisse coulée a pu être étudiée à 1160 m à l'Est de Michon. Elle occupe sans doute une ancienne dépression.

Du point de vue pétrographique la roche se présente sous l'aspect suivant : Les phénocristaux sont absents. Noyés dans un verre peu développé apparaissent des microlites de plagioclases bien formés. Dans les lames des plages plus foncées, riches en microlites d'augite, sont séparées par des zones plus claires où la calcite occupe une place importante. Il s'agit d'un basalte compact.

L'étude paléomagnétique montre que l'aimantation est inverse. Les trois échantillons sont porteurs d'aimantations rémanentes isothermes dues probablement à des champs de foudre en raison de leur exposition. Il est cependant possible d'atteindre au niveau de désaimantation suffisant pour calculer l'ATR.

Les directions obtenues sont les suivantes :

	I	D	α 95
64 VE 27	- 40°30	175° W	
64 VE 28	- 60 °	172°30 W	
64 VE 29	- 55 °	172° W	
Résultante	- 52°	173°30 W	15°30

Etant donnée la position de ce niveau il peut sembler logique de considérer que la coulée de Fournourette à aimantation inverse est contemporaine de la coulée à aimantation inverse du Grand-Crouzet constituant ainsi un niveau inverse intercalé dans une série à aimantation normale. Nous verrons quand nous étudierons les corrélations à l'échelle du Massif que l'on peut envisager une autre hypothèse.

c) De Fournourette à Champclause.

d) Si, empruntant la D 15, nous quittons le village de Fournourette pour gagner St-Julien Chaptueil, la route monte et l'on voit affleurer, près du bois qui garnit la cote 1209 m, des lambeaux de coulée où nous avons essayé de prélever à deux endroits différents. Ces lambeaux, qui forment la petite falaise que l'on voit à l'Est de la Chaux de la Croix, au Nord de la D 15, correspondent aux lambeaux de β . cartés par BOULE entre la Chaux de la Croix et Fournourette. L'étude pétrographique montre les caractères suivants :

Les phénocristaux de pyroxène (nombreux) et d'olivine (rares) sont de taille moyenne et difficiles à voir à l'oeil nu. Ils sont noyés dans une pâte où les microlites de plagioclases sont trapus. La roche s'apparente à un basalte compact.

L'étude paléomagnétique nous a permis d'obtenir les directions suivantes :

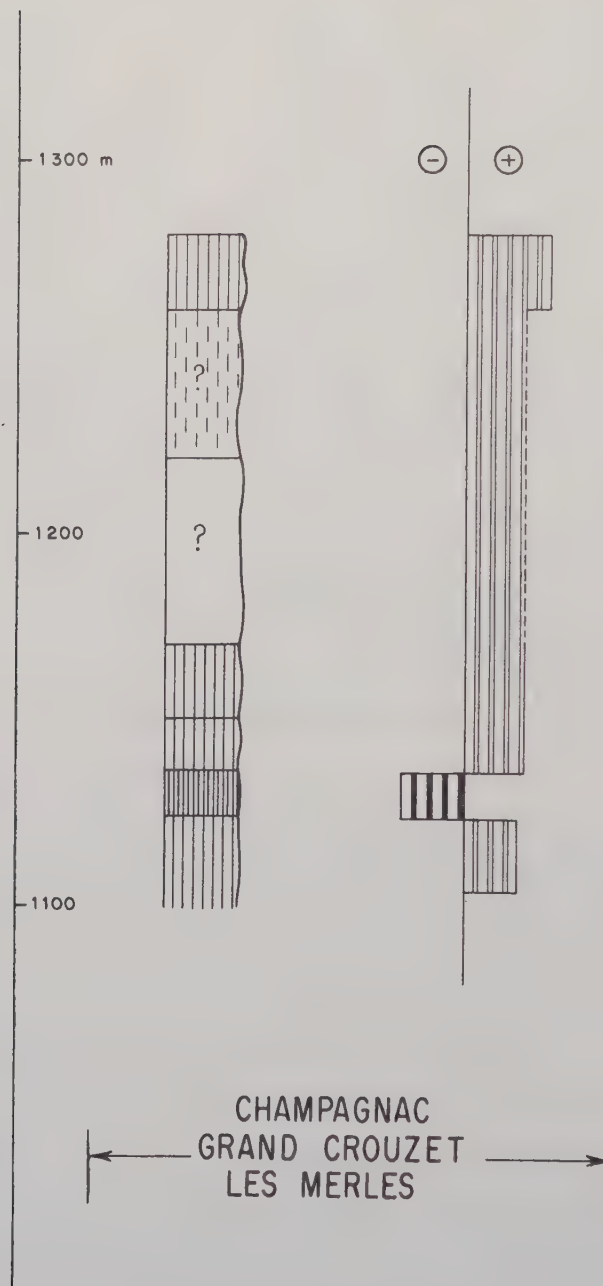


Fig. 82

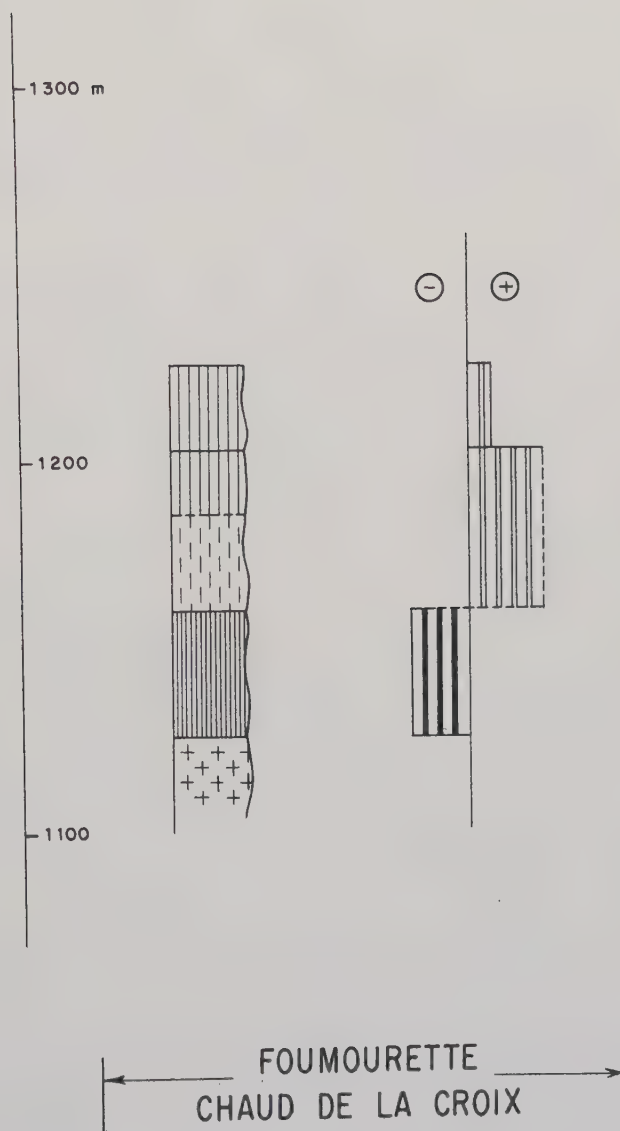


Fig. 83

- 1er site : échantillons 64 VE 30 et 64 VE 31.

Les aimantations sont très complexes; l'échantillon 64 VE 30 est porteur d'une aimantation rémanente isotherme ($M_0 = 6$ u.e.m. c.g.s.) A partir de 300 Oersted il semble que l'on arrive à une position d'équilibre que l'on peut considérer comme une ATR. L'échantillon 64 VE 31 ($M_0 = 0,2$ u.e.m. c.g.s.) est porteur d'une aimantation visqueuse qui disparaît rapidement. L'aimantation subsistante qui possède une forte composante horizontale semble cependant correspondre à une ATR.

- 2ème site : échantillons 64 VE 32 et 64 VE 33.

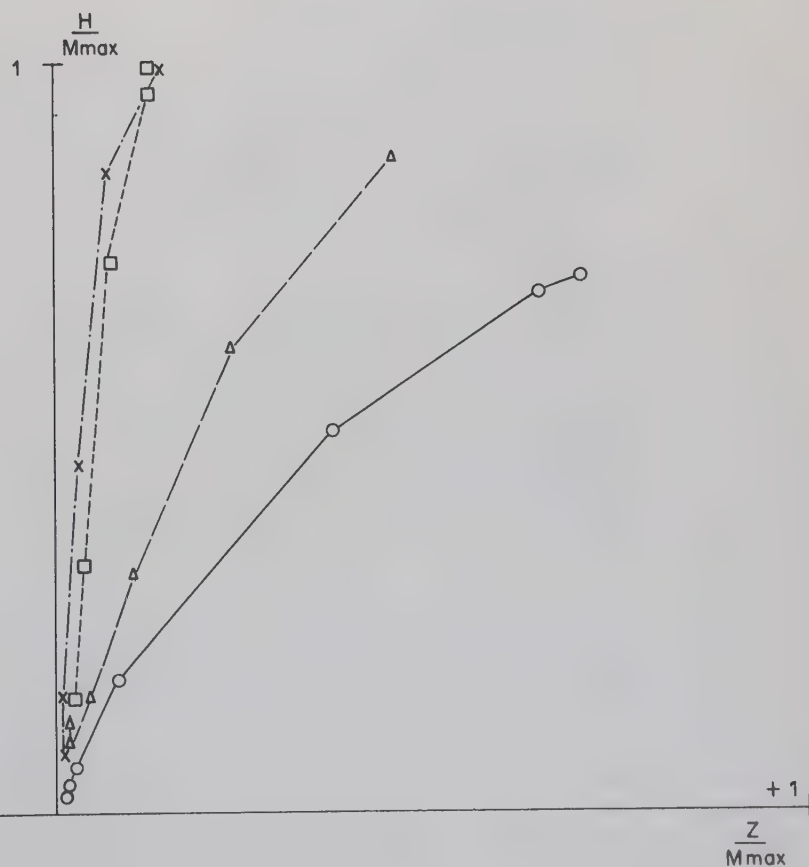
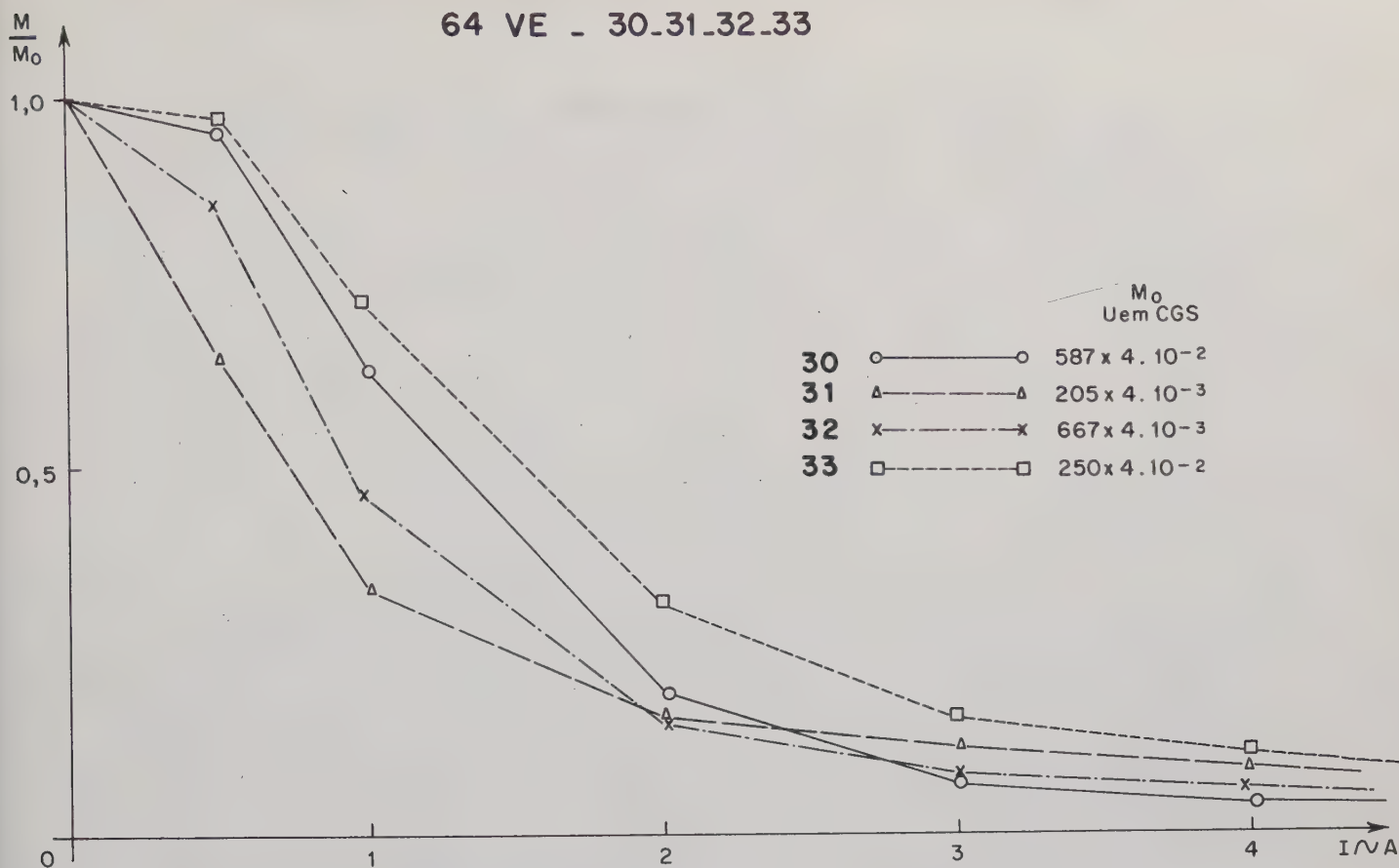
Là encore l'un des échantillons est porteur d'une aimantation rémanente isotherme douce. En prenant comme directions caractéristiques celle de l'aimantation subsistant après désaimantation à 300 Oersted on obtient : (fig. 83bis)

	I	D	α_{95}
64 VE 30	+ 25°	78° W	
64 VE 31	+ 4°	113° W	
64 VE 32	+ 5°30	91° W	
64 VE 33	+ 5°	105° W	
Résultante	+ 10°	97° W	20°30

L'inclinaison de l'aimantation de cette coulée est donc faible tandis que la déclinaison est intermédiaire entre celle de la coulée de Fournourette et la déclinaison d'aimantation normale habituelle. C'est pourquoi nous pensons que la coulée a pu se mettre en place durant une période de transition entre l'époque de champ inverse correspondant à la coulée à aimantation inverse de Fournourette et une époque de champ normal.*

* Nous reviendrons plus loin sur la présence de ces niveaux et sur leur signification.

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 64 VE - 30-31-32-33



(3) Cette nappe basaltique envoie au Sud des édifices volcaniques que l'on peut étudier près du village de Ourbe. Près de la cote 1150, au voisinage de la ferme de Mauras, apparaît, sur une coulée exploitée en carrière, un niveau d'argiles rouges qui supporte une épaisse formation culminant à la cote 1218 m au Nord-Ouest de Ourbe. Ce petit éperon rocheux est très homogène. Constitué par du basalte prismé il correspond probablement à une cheminée volcanique où deux carrières ont été ouvertes dans lesquelles nous avons pu prendre des échantillons sains. L'étude pétrographique nous donne les résultats suivants :

- Coulée inférieure (Cheminée de Ourbe) (échantillons 66 VE 23 - 07 à 11). Dans une pâte homogène apparaissent des phénocristaux de 2 à 5 mm. En lame mince la structure fluidale est marquée et le verre abondant. Les phénocristaux sont essentiellement constitués par de l'augite légèrement titanifère tandis que l'olivine est présente sous forme de gros microlites. Nous avons donc bien un basalte compact mais avec une certaine tendance au basalte porphyroïde.

- Coulée supérieure (Nord Est des Cheminées de Ourbe) (échantillons 66 VE 23 - 12 à 14). Là encore nous avons des phénocristaux visibles à l'oeil nu. En lame mince nous trouvons des phénocristaux d'augite et, en plus faible quantité, quelques cristaux d'olivine non altérée. Notons la présence d'agrégats d'oxyde de fer dus à la décomposition de minéraux primitifs. Dans certaines lames le verre est abondant tandis que les phénocristaux, qui ne sont plus visibles à l'oeil nu, comportent des pyroxènes, de l'olivine et même de la biotite. Nous avons donc bien des basaltes compacts.

L'étude paléomagnétique montre dans les deux cas que les aimantations de ces roches ont une direction normale que l'on peut caractériser par les paramètres suivants :

Coulée inférieure :

	I	D	d 95
66 VE 23 - 07	+ 54°	23° E	
66 VE 23 - 08	+ 50°	21° E	
66 VE 23 - 09	+ 61°	22° E	
66 VE 23 - 10	+ 60°	27° E	
66 VE 23 - 11	+ 59°	21° E	
Résultante	+ 57°	23° E	4°30

Coulée supérieure :

66 VE 23 - 12	+ 42°	7° E	d 95
66 VE 23 - 13	+ 44°	1° W	
66 VE 23 - 14	+ 39°	4° W	
Résultante	+ 42°	0°30E	7°30

Y) Enfin pour terminer la série nous avons étudié un affleurement de basalte primé carté β_0 à 1220 m, dans le virage de la route D 42, allant de Champclause à la Grangette, que l'on rencontre peu après le hameau des Teyres.

Du point de vue pétrographique la roche présente les aspects suivants caractéristiques d'un basalte semi-porphyroïde. Phénocristaux d'augite et d'olivine altérée tantôt en serpentine, tantôt en iddingsite. Les microlites, abondants, comportent des plagioclases et des ferromagnésiens.

Du point de vue magnétique, l'un des échantillons est porteur d'une aimantation rémanente isotherme, mais l'ensemble des trois

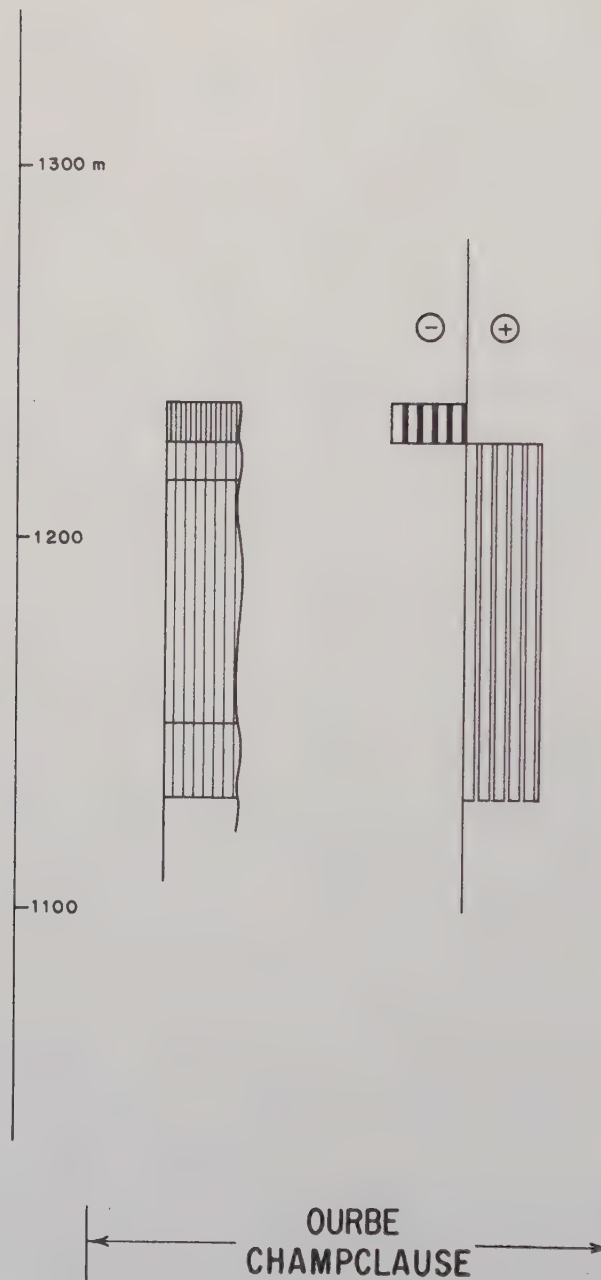


Fig. 84

échantillons montre que l'aimantation thermorémanente est probablement inverse. Les directions obtenues sont les suivantes :

	I	D	d 95
66 VE 23 - 15	- 75 °	108°W	
66 VE 23 - 16	- 34°	116°E	A R I
66 VE 23 - 17	- 64°	100°W	
Résultante 66 VE 23 15 & 17	- 70°	104°W	

Mais sur l'échantillon 66 VE 23 - 16 l'ARI subsiste et la direction résultante des échantillons 15 et 17 (-70° 104° W) caractérise mieux la coulée.

d) Conclusions

L'ensemble du secteur Champclause - Champagnac - Les Merles semble pouvoir être synthétisé de la façon suivante (fig. 82-83-84)*: à la partie Est, reposant directement sur le granite, affleurent des basaltes compacts (β^b) à aimantation normale. Ils sont surmontés, de place en place, par des niveaux à aimantation inverse à tendance trachytique. La série se termine par des basaltes semi-porphyroïdes à aimantation normale à Champagnac et inverse à l'amont de Champclause. Il est difficile d'affirmer dès maintenant si la nappe à aimantation inverse que nous avons rencontrée près des Teyres est postérieure aux coulées à aimantation normale de Champagnac mais nous pensons que cela est probable. Nous verrons dans la conclusion que cette hypothèse est probablement la bonne.

Sur la figure 85 nous avons reporté l'ensemble des directions moyennes de l'aimantation des formations étudiées dans le secteur de Champagnac - Champclause. Cette figure montre l'existence de

* légende page 162.

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION
DU SECTEUR CHAMPAGNAC_CHAMPCLAUSE.

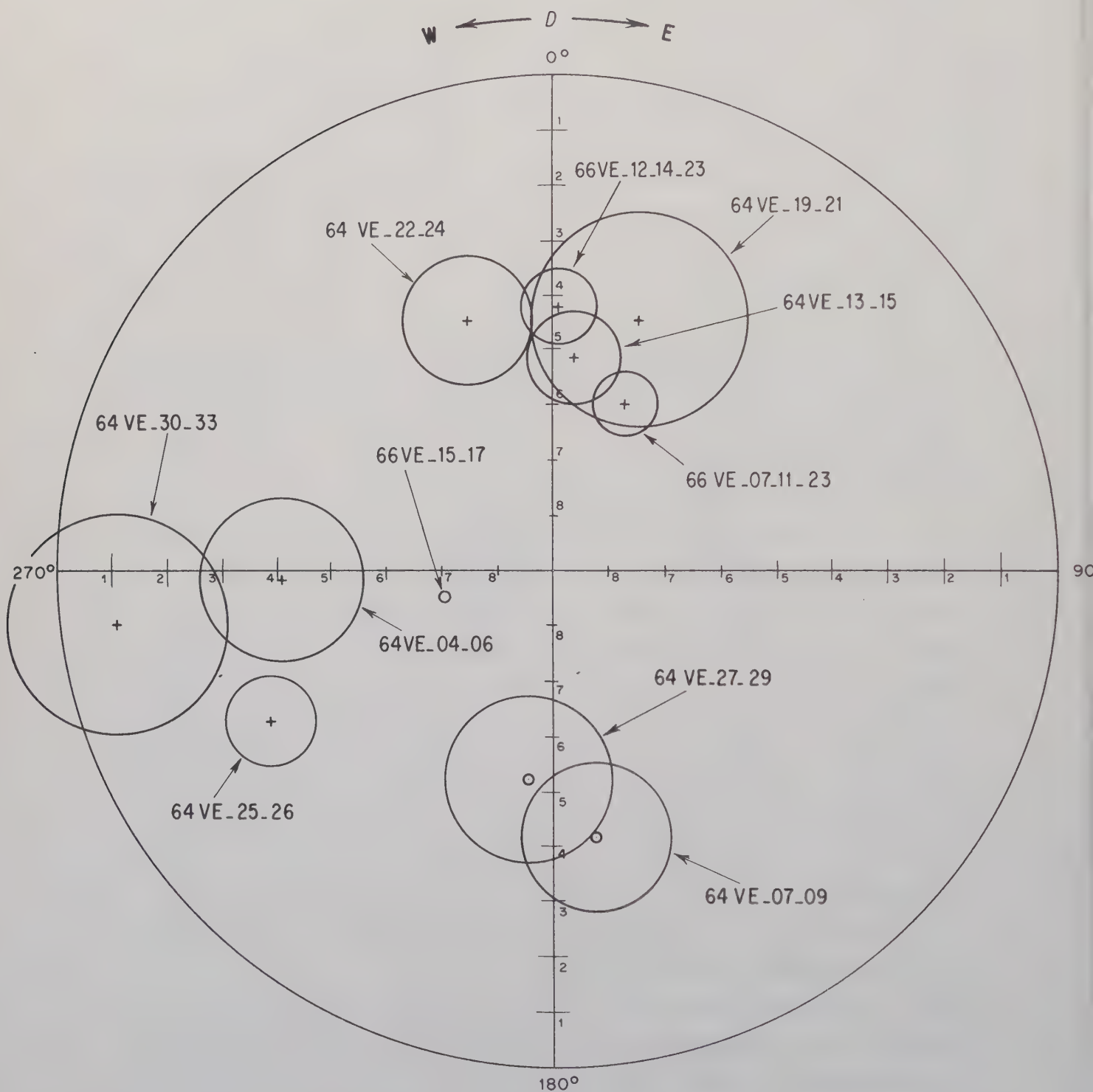


Fig. 85

W

2

A

B



Photo n°9 - Panorama de la Chaud de la Croix à Fougourette.

A - Fougourette.

B - Côte 1229 m

coulées caractérisées par une faible inclinaison et une forte déclinaison Ouest qui forment la barre rocheuse qui s'étend de Abriès-Bas aux Merles et la coulée de la côte 1229 près de la Chaud de la Croix. Les autres formations présentent des directions proches de celle due à un dipole géocentrique. Pour interpréter cette structure nous pouvons émettre deux hypothèses :

1e Hypothèse -

Nous avons noté que, pétrographiquement, la coulée rencontrée à l'Est de la Chaud de la Croix est plus proche d'un basalte compact que d'un basalte semi-porphyroïde. Nous pouvons ainsi envisager l'existence d'une nappe de basalte compact, à direction d'aimantation anormale, descendant de la côte 1229 pour s'étaler vers l'Est sur le granite au niveau du Lignon.

Cette nappe, qui ennoierait un niveau à aimantation normale à l'Est, serait recouverte par des coulées à aimantation inverse formant un horizon discontinu (coulée du grand Crouzet et coulée de Michon) auquel succède les basaltes semi-porphyroïdes d'abord normaux puis inverses. Le panorama de la photo 9 plaide en faveur de cette hypothèse.

2e Hypothèse -

Si les basaltes de la côte 1229 m recouvrent la coulée de Fournourette - Michon nous pouvons alors considérer que les coulées à aimantation inverse séparent deux niveaux à aimantation anormale. Nous verrons en esquisant la synthèse de l'ensemble du versant oriental la solution qui doit être retenue.

6) Le Massif du Pic du Lizieux. (fig. 86)

Nous tiendrons compte pour l'étude de cette zone des résultats obtenus par Michel MACLE dans le cadre de son Diplôme d'Etudes Supérieures (1967) et dont nous avons repris l'interprétation comme nous l'avons vu au Chapitre I.

a) Le flanc Sud-Est : La vallée du ruisseau de la Chèze et la région du Mazet St-Voy (fig. 87).*

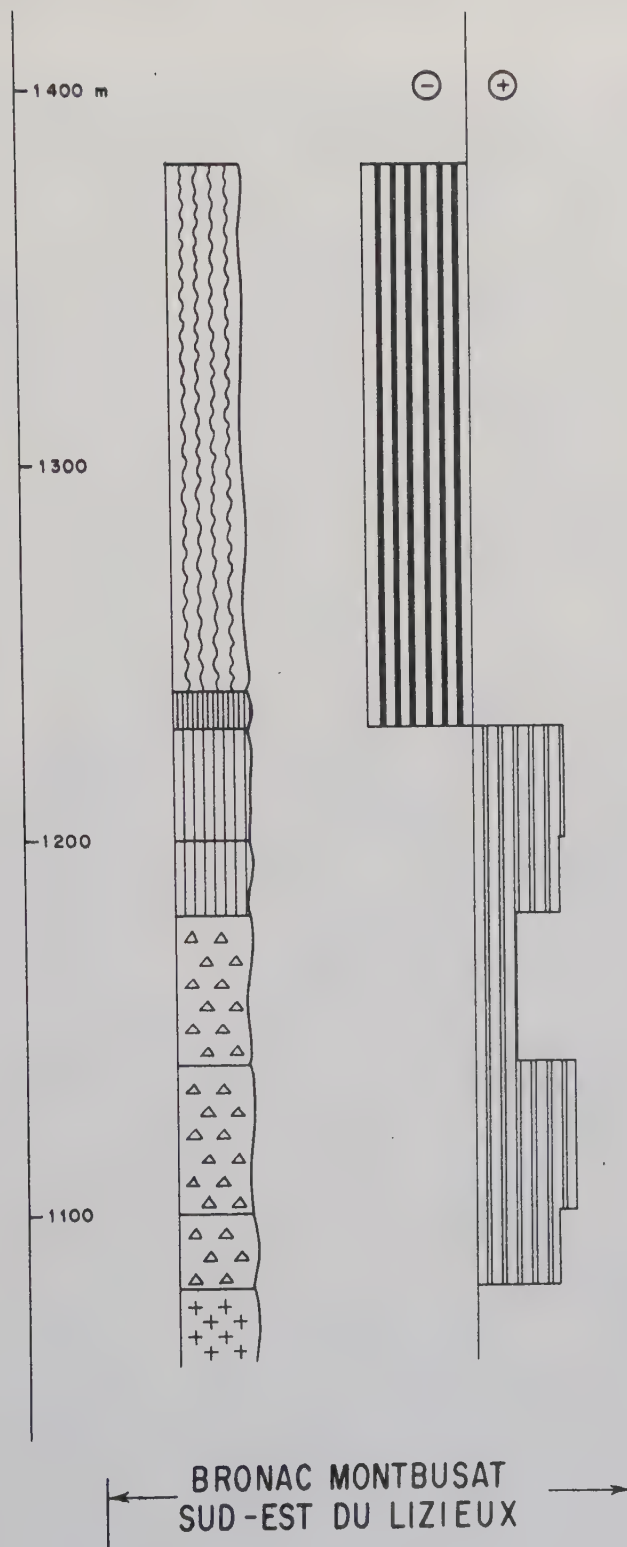


Fig. 87

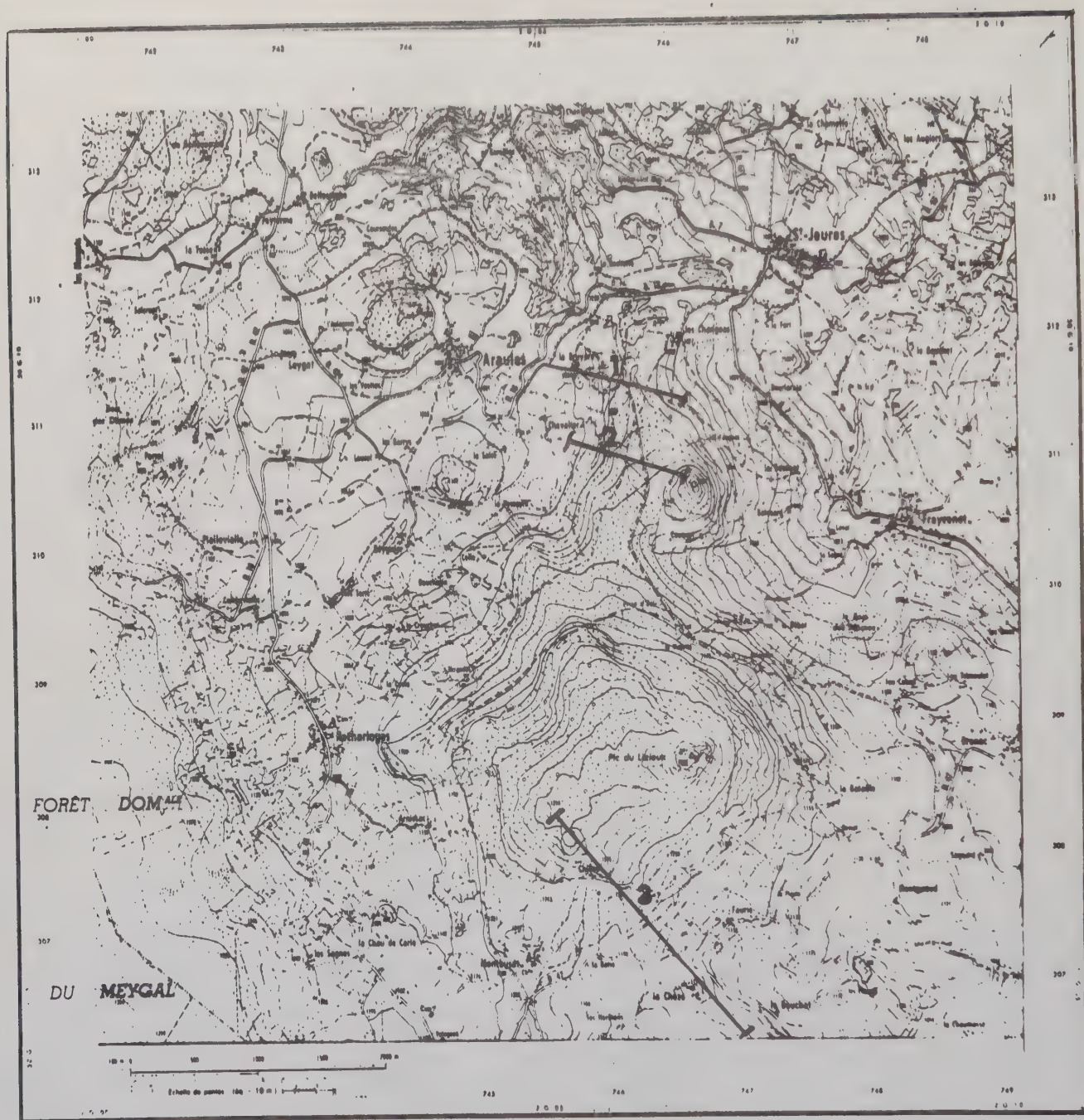


Fig. 86 - Carte topographique du Massif du Lizieux avec position des coupes paléomagnétiques.

- 1) - Flanc Nord Ouest La Bruyère.
- 2) - Flanc Nord Ouest Chevalier.
- 3) - Flanc Sud Est.

Une série de prélèvements a été exécutée le long de la D 47 entre le hameau de Bronac et le village de Montbusat.

α) Coulée formant falaise à l'Est de Bronac à une altitude voisine de 1080 m. Il s'agit d'un basalte carté β^b qui présente cependant un développement important des pyroxènes sous forme de gros cristaux. L'étude paléomagnétique donne les résultats suivants :

	I	D	α 95
L 19	+ 56°	30°E	
L 20	+ 51°	25°30	
L 21	+ 60°	9°E	
L 22	+ 55°	17°30 W	
Résultante	+ 57°	12°E	14°30

β) En remontant la D 47 en direction de Faurie, nous trouvons, à l'Ouest de La Bataille, un nouveau res-saut dans la topographie qui correspond à une nouvelle coulée de basaltes à phénocristaux d'augite; cette coulée échantillonnée près de la route à 1100 m d'altitude donne les résultats paléoma-gnétiques suivants :

	I	D	α 95
L 23	+ 60°	15°30 W	
L 24	+ 62°30	13° W	
L 25	+ 62°	13° W	
Résultante	+ 61°30	14° W	2°30

Υ) Avant le hameau de Faurie, à 1150 m, affleure un troisième niveau de basaltes à phénocristaux d'augite dont les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	α 95
L 26	+ 20°	25° E	
L 27	+ 36°	21°30 E	
Résultante	+ 28°	28°30	

δ) Le hameau de la Chèze est adossé à un petit piton formé de basalte sans gros cristaux qui a été échantillonné et donne les résultats suivants :

	I	D	α 95
L 28	+ 52°	80°30 W	
L 29	+ 55°	18° W	
Résultante	Positif		-

Ξ) Enfin, pour terminer la série, M. MACLE a prélevé au niveau du Village de Montbusat trois échantillons sur des coulées de basaltes semi-porphyroïdes. Du point de vue paléomagnétique sur les trois échantillons étudiés, si l'un présente une aimantation inverse résistante, les deux autres portent une aimantation normale caractéristique. Tous ces échantillons ont été prélevés entre 1220 m et 1250 m. L'échantillon à aimantation inverse (L 30) est affecté par une ARI ($M_0 = 2,2$ u.e.m. c.g.s.). Mais celle-ci semble disparaître lorsque le champ démagnétisant dépasse 350 Oersted d'intensité efficace. La

direction d'aimantation est alors caractérisée par :

$$I = - 72^{\circ} 30$$

$$D = 163^{\circ} W$$

Les deux échantillons à aimantation normale (L 31 et L 32) présentent des aimantations de bonne qualité dont on peut caractériser la direction par les valeurs de I et D obtenues au palier de 200 Oersted :

	I	D	α 95
L 31	+ 56°	8° E	
L 32	+ 70°	5° W	
Résultante	+ 63°	3° E	

On peut donc se poser la question de savoir si l'échantillon L 30 a été entièrement désaimanté ou s'il est encore porteur d'une ARI. Cependant l'ordre de grandeur des composantes après une étape de désaimantation à 550 Oersted est du même ordre que celui des aimantations portées par les échantillons L 31 et L 32 et la direction reste fixe. Il est donc permis de supposer que la série des basaltes de Montbusat est couronnée par une petite coulée à aimantation inverse. Nous retrouverions ainsi une situation semblable à celle que nous avons eue dans la région de Champagnac - Champclause.

ζ) Enfin nous reporterons ici les résultats que nous avons obtenus sur les basaltes à phénocristaux d'olivine prélevés dans la petite carrière entaillée à l'extrémité occidentale du Bois de Sous la Roche, au Sud-Est du Mazet St-Voy, près du croisement (D 151 - D 15). L'aimantation, normale, est caractérisée par les directions suivantes :

	I	D	α 95
64 VE 10	+ 52°	20°30 E	
64 VE 11	+ 48°30	1°30 W	
64 VE 12	+ 49°	27° E	
Résultante	+ 50°30	15° E	15°

La direction d'aimantation est très proche de celles de la coulée de Bronac située à une altitude voisine.

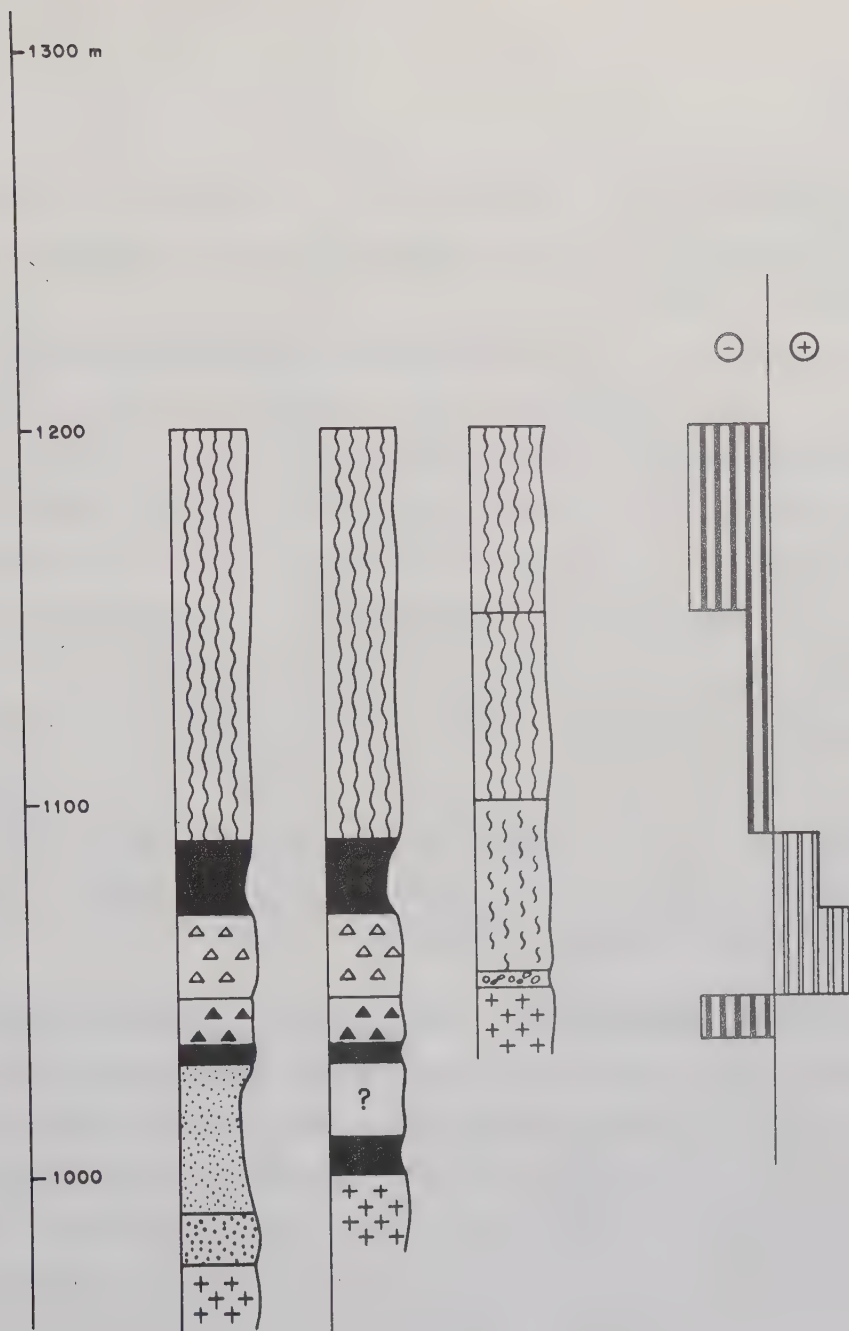
b) Le flanc Nord-Ouest : La rive droite de la vallée de l'Auze (fig. 88)*.

Très tôt cette région a attiré l'attention des géologues puisque P. TERMIER dans son ouvrage "Les éruptions du Velay" publié en 1890, puis BOULE dans sa thèse (1893) ont donné des coupes interprétatives. Ces deux auteurs n'étaient d'ailleurs pas d'accord sur l'interprétation de la région d'Araules. C'est pourquoi avec Michel MACLE nous avons repris l'étude détaillée de ce secteur.

d) La série inférieure entre St-Jeures et le Suc de Mounier.

- Coupes stratigraphiques : La série près du hameau de Chevalier (fig. 88 a) :

Sur le flanc Nord-Ouest du Suc de Mounier, des arkoses de type oligocène tapissent le fond du ruisseau de l'Auze à 990 m, en contrebas du hameau de Chevalier. A 995 m ces arkoses sont surmontées par des niveaux argileux plus fins, de couleur verte, qui se continuent de façon permanente jusqu'à l'altitude de 1030 m. A ce niveau, les argiles qui prennent une teinte rouge, sont recouvertes par une épaisse couche de basaltes à gros cristaux épaisse de 40 m. La série se poursuit par une couche d'ar-



FLANC NORD ET NORD-OUEST DU
LIZIEUX
SUC DE MOUNIER

Fig. 88

giles rouges de 10 à 20 m de puissance qui précède la phonolite du Suc de Mounier.

. La série de la ferme de la Bruyère (fig. 88b)

Une coupe Est-Ouest, réalisée au Nord de la précédente, près de la ferme de la Bruyère, montre que le granite, entaillé par le ruisseau de l'Auze, se prolonge jusqu'à près de 1000 m d'altitude. Il est surmonté par une mince couche d'argiles rouges. De 1010 à 1035 m les éboulis masquent totalement tous les affleurements et il nous a été impossible de retrouver le basalte (3° b) porté sur la carte géologique établie par BOULE. A partir de 1035 m nous retrouvons le niveau d'argiles rouges de la coupe précédente. Il est recouvert par une couche à gros phénocristaux d'augite à laquelle succède une seconde couche d'argiles rouges qui supporte la phonolite. Notons qu'ici la phonolite est très voisine d'une trachyphonolite.

- Caractères magnétiques : Les basaltes à phénocristaux.

L'analyse a porté sur trois échantillons (L 6, L 7 et L 8) prélevés à différentes altitudes. L'échantillon du niveau inférieur (L 6) est porteur d'une aimantation inverse. Le très fort moment initial ($M_0 = 4$ u.e.m. c.g.s.) suggère l'existence d'une ARI. Toutefois, l'aimantation thermorémanente est probablement atteinte après désaimantation à 550 Oersted.

La grandeur des composantes est alors du même ordre que celles obtenues au même stade de désaimantation pour les échantillons L 7 et L 8 porteurs d'aimantations thermorémanentes incontestables. On peut donc supposer l'existence d'une coulée à aimantation inverse à la base des coulées basaltiques.

Les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	α 95
L 6	- 47°30	141°30 E	
L 7	+ 26°	147°30 W	
L 8	+ 68°30	81°30 E	
Résultante L ₇ + L ₈	+ 62°30	170° W	

Les résultats sont incertains. La divergence entre les directions montre que les ARI subsistent ou que la formation est hétérogène.

β) La phonolite du Suc de Mounier (fig. 88 c) : La topographie semble traduire l'existence d'au moins trois niveaux de phonolite*. C'est pourquoi les prélèvements ont été effectués à divers niveaux.

- Le premier se situe entre 1050 et 1100 m au Sud de la D 18.
- Le second est compris entre 1100 et 1150 m. Il est terminé par le méplat rencontré à 1150 m à l'Est de Chevalier.
- Le troisième correspond au Suc de Mounier qui culmine à 1200 m. Sa base est soulignée par le niveau de sortie d'eau qui jalonne la courbe de niveau de 1150 m.

Les résultats sont les suivants :

. Niveau inférieur : Comme dans toutes les phonolites la direction d'aimantation est extrêmement difficile à définir. Toutefois nous pensons qu'en prenant les premiers stades de la désaimantation nous obtenons la direction de l'ATR, ce qui nous donne les résultats suivants :

(*) Le panorama de la photo 10 montre bien l'aspect morphologique du massif.

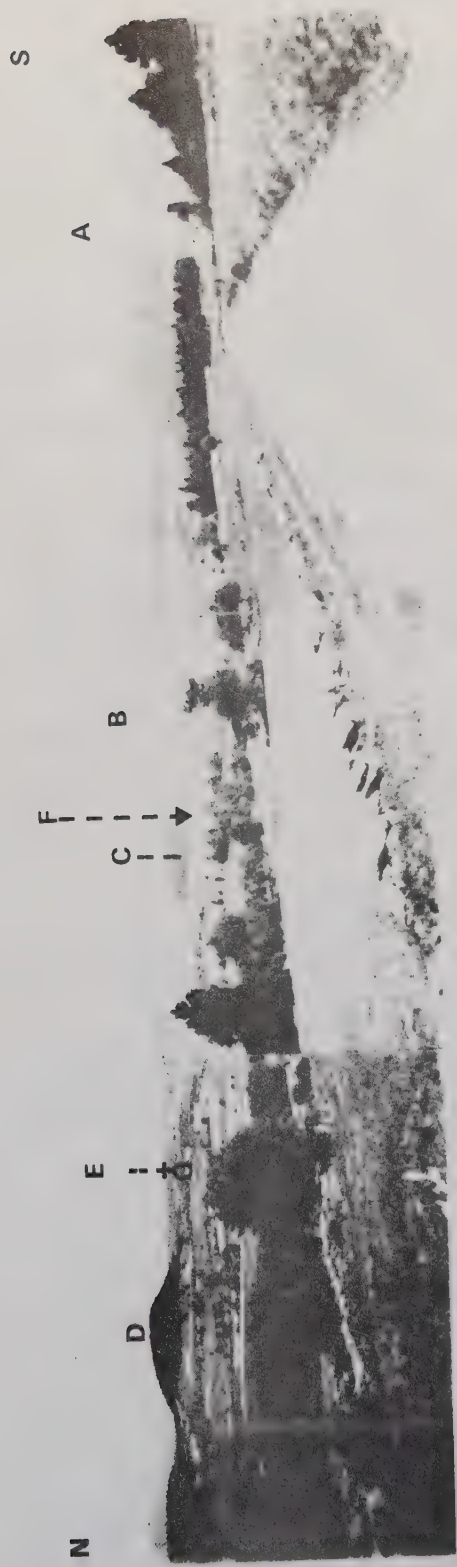


Photo n° 10 - Panorama de la Vallée de l'Auze depuis Pialleviales -

- A - Pic du Lizieux.
- B - Suc de Mounier.
- C - Phonolite de Salce.
- D - Suc d'Araules.
- E - Village d'Araules.
- F - Vallée de l'Auze.

	I	D	α_{95}
L 1	+ 36°30	70° E	
L 2	+ 32°	45° E	
L 3	+ 31°	6° W	
Résultante	+ 37°30	36° E	49°30

. Niveau moyen : Trois blocs ont été prélevés sur la phonolite qui forme la falaise surmontant les basaltes à l'Est de Chevalier, un quatrième ayant été pris au niveau des argiles cuites sous-jacentes à 1090 m. Nous obtenons les résultats suivants :

	I	D	α_{95}
L 10 (argiles cuites)	- 66°	163°30 E	
L 9 (phonolites)	- 50°30	159° W	
Résultante	- 59°30	173°30 W	-

Les deux échantillons (L 11 et L 12)* présentent des aimantations rémanentes isothermes en particulier L 12 ($M_0 = 5$ u.e.m. c.g.s.). A 550 Oersted, les directions d'aimantation sont caractérisées de la façon suivante :

	I	D	α_{95}
L 11 (550 Oersted)	- 15°30	118°30 W	
L 12	- 28°	166° E	
Résultante	- 27°	154°30 W	-

* Les échantillons L 11 et L 12 ont été prélevés à une altitude supérieure à celle des échantillons L 9 et L 10.

Les ARI sont encore prédominantes mais il y a bien deux niveaux, au moins, dans la mise en place des phonolites du Nord du Lizieux (peut-être trois). Afin de s'assurer de cette affirmation trois autres échantillons pris à une altitude moyenne mais supérieure à celle des phonolites normales franches et à celle des phonolites inverses franches ont été étudiés et ont donné les directions d'aimantation suivantes :

	I	D	α 95
L 4	- 14°30	124°30 W	
L 5	- 17°30	104° W	
L 14	- 14°30	89° W	
Résultante	- 16°	106° W	26°30

Ces résultats semblent confirmer l'existence dans la série des phonolites du Suc de Mounier d'un niveau à inclinaison faible. (*)

- Niveau supérieur : Un seul échantillon provenant du sommet du Suc de Mounier permet de tirer des conclusions :

	I	D	α 95
L 15	- 50°	90° E	

Signalons que la coulée de phonolite qui, venant du suc du Lizieux, recouvre le basalte semi-porphyroïde de la vallée de Recharinge près de Arnissac présente une direction comparable.

c) Conclusion.

Pour établir la chronologie exacte du Massif nous devons tenter de préciser la position respective des basaltes com-

(*) Une étude détaillée de l'anisotropie magnétique permettrait de savoir si la différence d'inclinaison n'est pas due à une anisotropie due à la mise en place d'un dôme coulé.

pacts et de la phonolite. Nous avons la certitude que les niveaux de phonolite à aimantation inverse reposent sur les basaltes compacts à aimantation normale. Par contre, la phonolite de base à aimantation normale qui recouvre au Nord le granite et des sédiments pontiens (P. BOUT, 1966) est peut-être antérieure aux basaltes à gros cristaux de pyroxène.

Nous pouvons résumer l'ensemble de nos observations de la façon suivante :

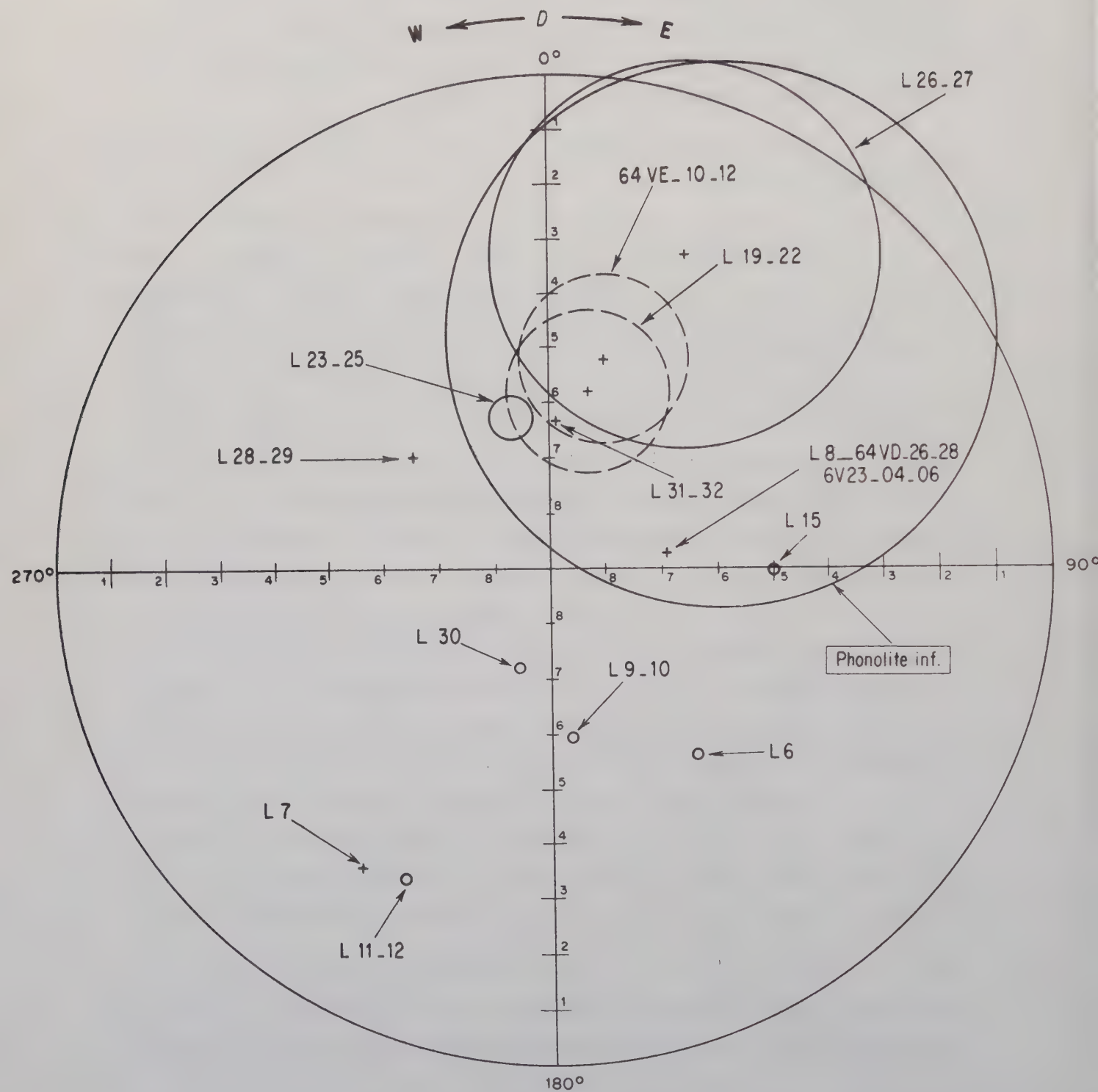
a) Sur le flanc Nord du Massif du Lizieux la série débute par des coulées de basalte compact reposant sur du granite ou des sédiments oligocènes voire des lambeaux de pontien. Un témoin à aimantation inverse existe peut-être à la base de cette série dont l'aimantation est à prédominance normale. Au sommet de la série les basaltes s'enrichissent progressivement en pyroxène et passent à des basaltes porphyroïdes qui sont très développés sur le versant oriental du Lizieux. Les premières éruptions de phonolite à aimantation normale sont contemporaines de cette série basaltique. L'activité volcanique s'achève ici avec la mise en place de phonolites à aimantation inverse.

(3) Le flanc Sud ne se distingue du flanc Nord que par le fait que les phonolites à aimantation normale font défaut, tandis que l'activité volcanique se prolongerait jusqu'à la mise en place de basaltes semi-porphyroïdes à aimantation normale puis inverse.

Notons aussi que, très souvent, les basaltes à grands cristaux de pyroxène sont proches des cheminées phonolitiques et que beaucoup de tufs à phénocristaux renferment des blocs de phonolite. Nous aurions ainsi une relation spatiale étroite entre phonolites et basaltes porphyroïdes.

Sur la figure 89 nous avons reporté les directions d'aimantation mesurées dans le Massif du Lizieux. Nous noterons ici que la plupart des directions correspondent à celle d'un dipole géocentri-

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION DU MASSIF DU LIZIEUX.



que. On remarquera, comme directions anormales, celles des phonolites à faible inclinaison négative dont la déclinaison est voisine de 90° W et les phonolites normales à faible inclinaison. Les autres directions anormales ne sont pas significatives car elles sont déduites à partir d'un seul échantillon.*

7) Entre Meygal et Lizieux : la vallée de l'Auze (fig. 90)

a) La région d'Araules : (Photo 10)

q) Données géologiques.

Près d'Araules on ne rencontre, comme le signalait BOULE (1893) que des basaltes compacts β'_b et des phonolites. Dès l'époque de TERMIER et de BOULE deux hypothèses s'affrontaient pour interpréter la structure du Suc d'Araules. Ces hypothèses sont schématisées par la figure 91 que nous emprunterons à BOULE. Pour TERMIER, les basaltes β'_b étaient plaqués au flanc de la colline d'Araules, tandis que BOULE pensait que la phonolite était venue s'épancher au-dessus de ceux-ci; ceci lui permettait de mettre en parallèle la phonolite d'Araules avec la phonolite de Lizieux. M. MACLE (1967) a considéré que les basaltes β'_b étaient, au moins en partie, postérieurs à la phonolite. Tout récemment P. BOUT (1968) rappelle que le basalte repose bien sur la phonolite mais que cette disposition est due au fait que la phonolite a été injectée à travers la couverture basaltique. Cette hypothèse a le mérite de concilier les observations de TERMIER, puisque les basaltes recouvrent bien la phonolite, avec l'hypothèse de BOULE, puisque la phonolite est bien postérieure aux basaltes. Nous sommes allés plusieurs fois sur le terrain pour essayer de trancher entre ces diverses hypothèses. Une première fois avec M. MACLE (en 1967), une seconde fois avec J.L. CHEMINEE (en 1968). Nous avons, lors de cette deuxième visite, essayé de réaliser une analyse en fonction des rayonnements gamma naturels.

* Sur la figure 89. Le cercle de confiance correspondant aux échantillons L 26 - 27 calculé à partir de deux échantillons n'a évidemment pas de signification. Il n'a été porté qu'à titre indicatif. Pour les autres résultantes obtenues à partir d'un seul échantillon, le cercle n'a pas été calculé.

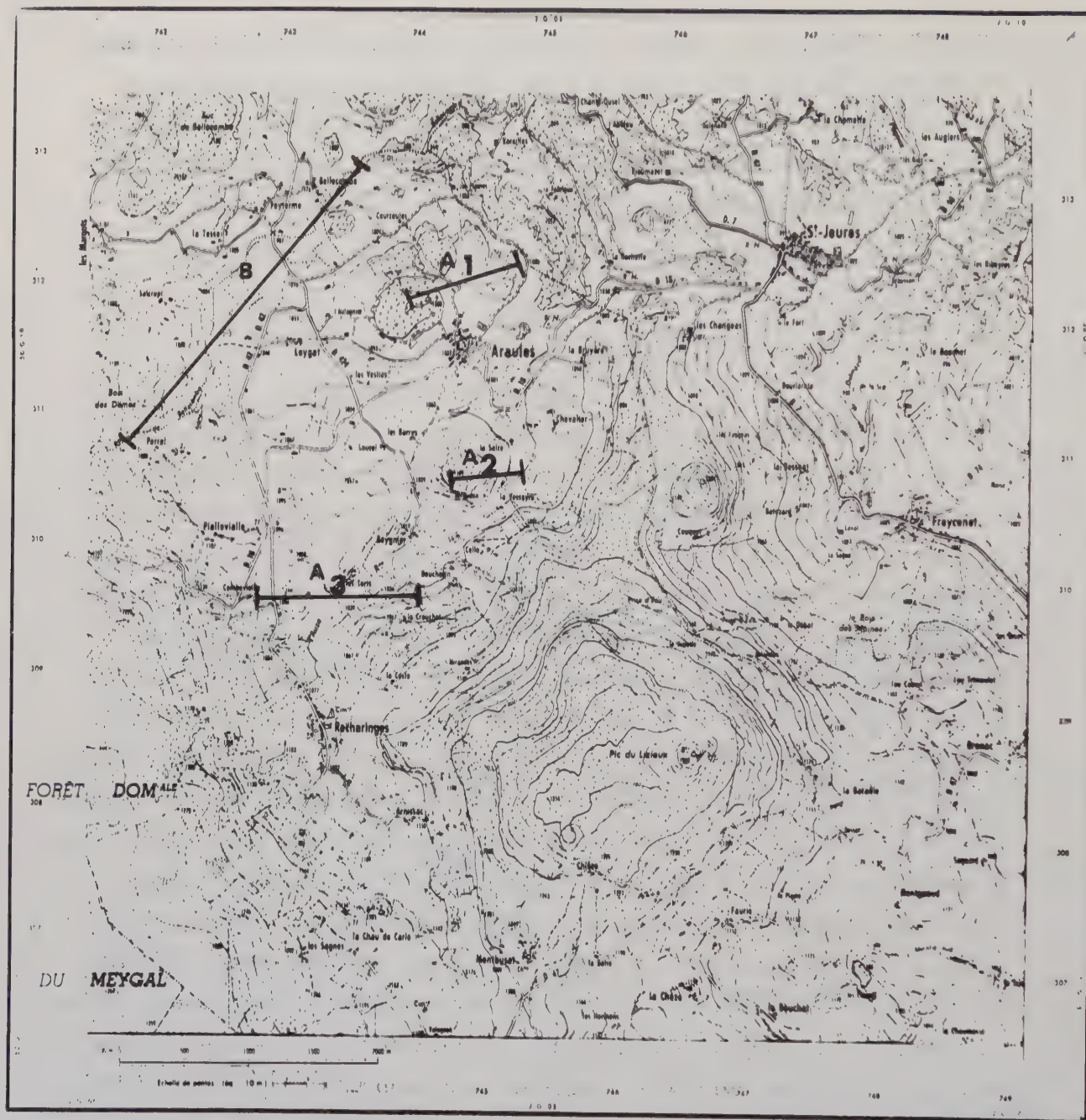
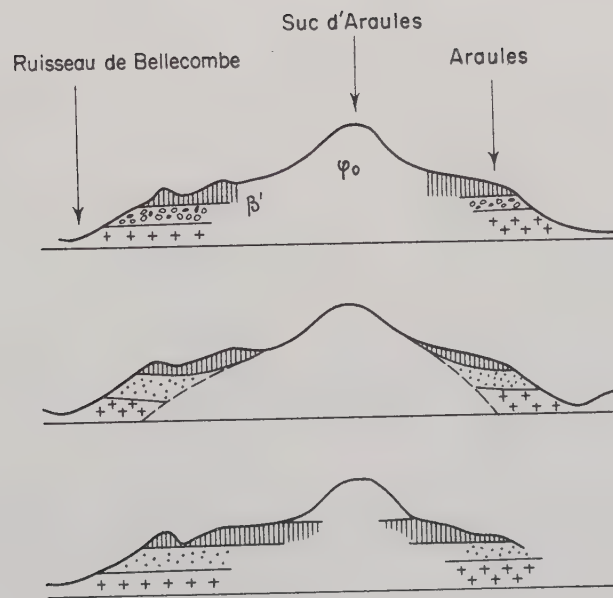


Fig. 90 - Carte topographique de la Vallée de l'Auze
et de la vallée de Bellecombe -

A) - Coupes paléomagnétiques de la Vallée de
l'Auze

A₁ - Araules - A₂ - Salces - A₃ - Recharinges.

B) - Coupe paléomagnétique du ruisseau de Bellecombe.



COUPES DE LA MONTAGNE D'ARAULES
(d'après M. BOULE 1893)

Pour nous, les études de terrain d'une part (en particulier l'analyse des affleurements visibles le long du chemin qui relie Araules et Courcoules) et l'étude détaillée du contact phonolite - granite au N-E du Suc d'Araules d'autre part, confirment l'idée que les basaltes sont, au moins en partie, postérieurs aux phonolites. On ne voit nulle part les niveaux d'argiles cuites être déformés au contact basalte - phonolite. Il n'y a pas trace de brèches ou de fracturation des coulées supérieures comme cela aurait dû normalement se produire si les phonolites avaient été injectées à l'intérieur des basaltes. De plus, au Nord-Est du village, les coulées supérieures de basaltes reposent très normalement sur la phonolite.

Du point de vue pétrographique, la phonolite montre des cristaux de sanidine, d'augite aegérynnique et d'hauïne associés à quelques minéraux opaques. Dans les basaltes, il faut distinguer deux niveaux :

- le niveau inférieur qui est un basalte compact à augite et olivine.
- et le niveau supérieur proche des basaltes porphyroïdes β_a à grands phénocristaux d'augite.

Nous trouvons donc une disposition comparable à celle que nous avons rencontrée sur le versant Nord du Suc de Mounier.

β) Données magnétiques (fig. 92)*

Du point de vue magnétique nous utiliserons les mesures faites par M. MACLE. Nous avons vu au chapitre I (fig. 6c) que les derniers stades de désaimantation qu'il a réalisé sont altérés par la présence d'ARA. Reprenant l'interprétation des résultats, nous avons obtenu les données suivantes :

- L'aimantation des phonolites.

- . Coulée reposant sur le granite au Nord-Est du village (échantillons B 51, B 52 et B 54). A la fin de la désaimantation, la composante horizontale tend vers une direction fixe par rapport au trièdre de mesure, ce qui traduit bien à notre avis l'exis-

* légende page 162.

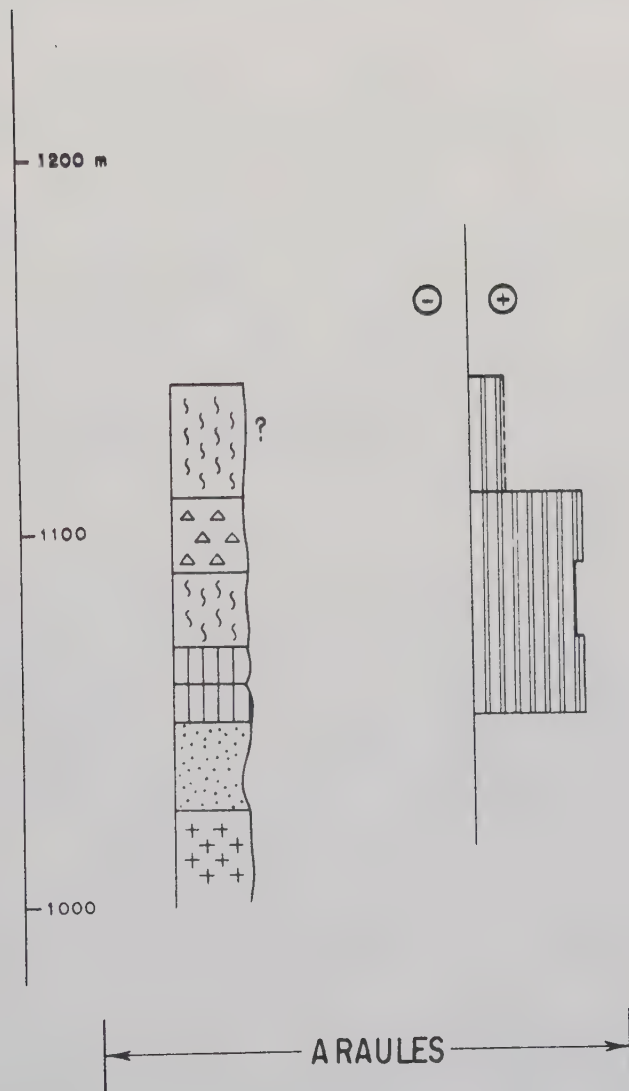


Fig. 92

tence d'une ARA. Ce n'est qu'en prenant les valeurs au stade de 150 Oersted que nous pourrons avoir des indications sur la direction des aimantations thermorémanentes. Ces directions sont les suivantes :

	I	D	295
B 51	+ 58°	7°30 W	
B 52	+ 66°30	13° E	
B 54	+ 69°	9° E	
Résultante	+ 65°	3°50 E	12°

• Suc d'Araules et pointement proche de l'ancien Chemin de Courcoules. (fig. 92bis)

Les échantillons B 45 et B 46 ont été prélevés au suc d'Araules et le témoin B 49 sur le petit affleurement que l'on trouve au Nord-Est de l'ancien chemin qui va d'Araules à Courcoules. L'échantillon B 46 est porteur d'une ARI ($M_0 = 6,8$ u.e.m. c.g.s.) très dure. Les échantillons B 45 et B 49 sont porteurs d'une aimantation délicate à préciser. Au départ, l'aimantation de B 45 est inverse mais elle devient normale à la fin de l'analyse - tandis que celle du bloc B 49 demeure en permanence normale. Pour interpréter ces aimantations, nous tiendrons compte des faits suivants :

+ Dans les deux cas le moment rémanent est faible ($M_0 = 0,8$ u.e.m.c.g.s.)

+ Les courbes de désaimantation, identiques, se situent au-dessus de la courbe d'aimantation rémanente isotherme franche portée par l'échantillon B 46.

+ Pour les deux séries de mesure les directions tendent vers la même limite par rapport au trièdre de référence (Ng, E, verticale du lieu) mais non par rapport au trièdre de mesure (x, y, verticale du lieu).

— COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS B 45-46-49

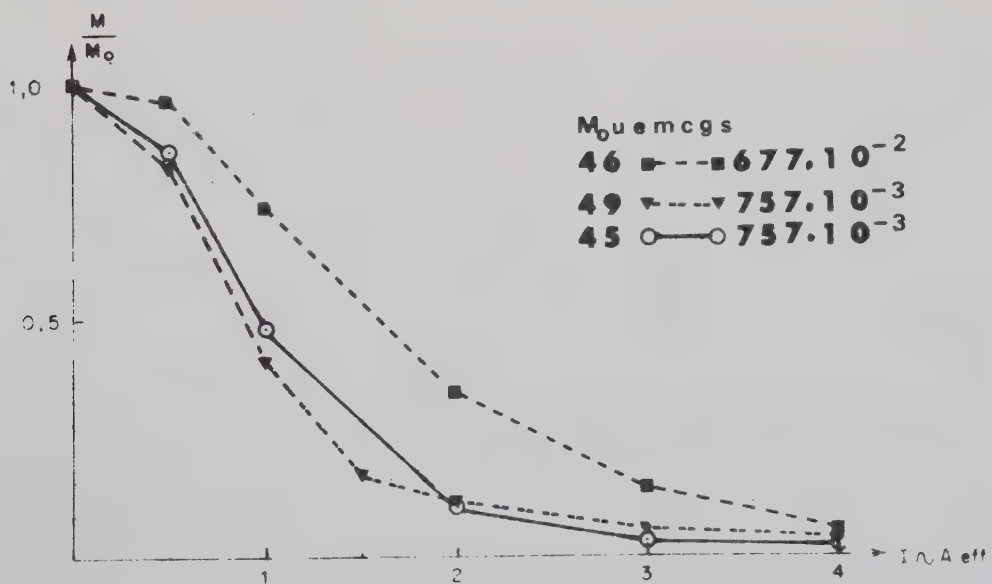
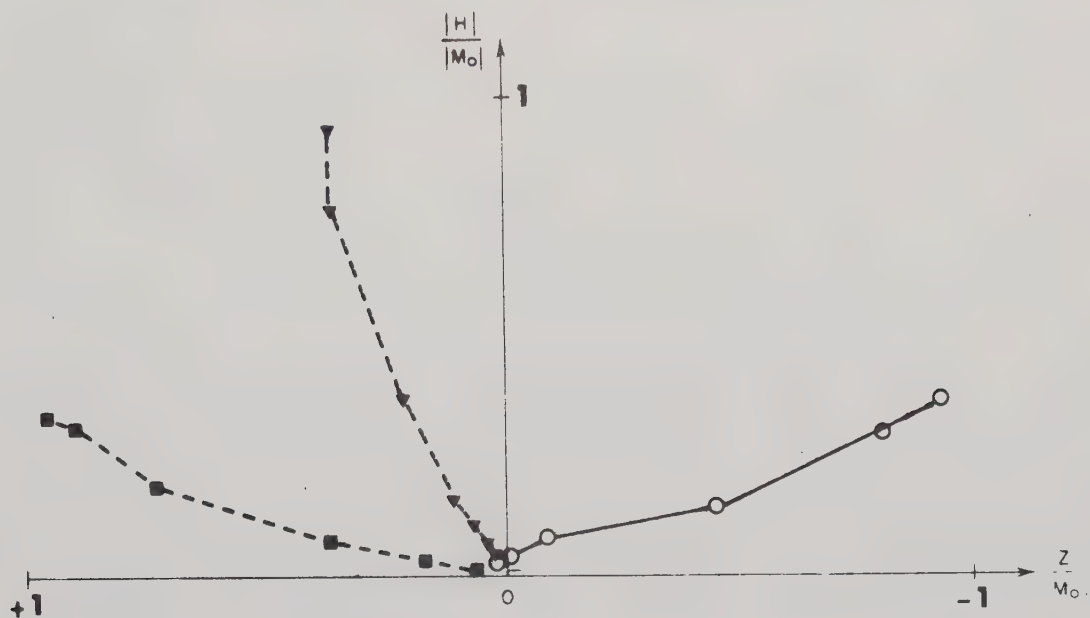


Fig 92 bis

Ces faits nous amènent à considérer que nous avons des ATR caractérisées de la façon suivante :

	I	D	d 95
B 45	+ 22°	10° W	
B 49	+ 19°30	12°30 W	
Résultante	+ 21°	11° W	

- Aimantation des basaltes.

Nous avons vu (Chap. I) que les derniers stades de désaimantation sont entachés d'anhystrétique et nous considérerons les aimantations acquises après disparition éventuelle des ARI faibles et des aimantations rémanentes visqueuses faibles. Les résultats peuvent être résumés par le tableau suivant :

		I	D	d 95
Coulée inf. 1050 m	B 57	+ 75°30	0°30 E	
	B 58	+ 81°	36° E	
Coulée moy. 1060 m - 1100 m	B 55	+ 80°	10° W	
	B 56	+ 72°	18° E	
Coulée sup. 1090 m - 1110 m	B 47	+ 63°	3° E	
	B 48	+ 42°	20° E	
	B 50	+ 74°	20°30 E	
	B 53	+ 75°30	2°30 E	

Résultantes Coulée inf.		+ 79°	14° E	
Résultantes Coulée moy.		+ 76°30	8° E	
Résultantes Coulée sup.		+ 64°	13° E	18°

La direction d'aimantation des phonolites recouvrant le granite est proche de celle du basalte de la coulée supérieure mais diverge nettement de celle des niveaux de phonolite surplombant le basalte; ce fait nous incline à penser que la phonolite qui repose sur le granite a été réchauffée par la coulée supérieure de basalte, ou que nous avons des phonolites intercalées dans les basaltes. De plus, si les basaltes avaient été soulevés par la phonolite on pourrait s'attendre à trouver une plus grande dispersion dans leur aimantation étant donnée la répartition des échantillons.

En conclusion, observations de terrain et données paléomagnétiques nous font opter pour l'hypothèse de TERMIER (phonolite antérieure aux basaltes à gros cristaux). Nous tenons à préciser toutefois qu'il s'agit d'une interprétation que, faute de preuves absolues, nous adoptons car elle rend mieux compte de toutes les observations que l'hypothèse d'une intumescence de phonolites traversant les basaltes.

b) La vallée de Recharinges de Salce à la Chaud de Carle.

d) La série de Salce. (fig. 93)*

Au Sud d'Araules, la série débute à Salce par des trachytes inférieurs qu'il ne nous a malheureusement pas été possible d'analyser d'une façon correcte. Cette coulée est surmontée par des basaltes β^b entourant un piton de phonolites. Là encore

* légende page 162 .

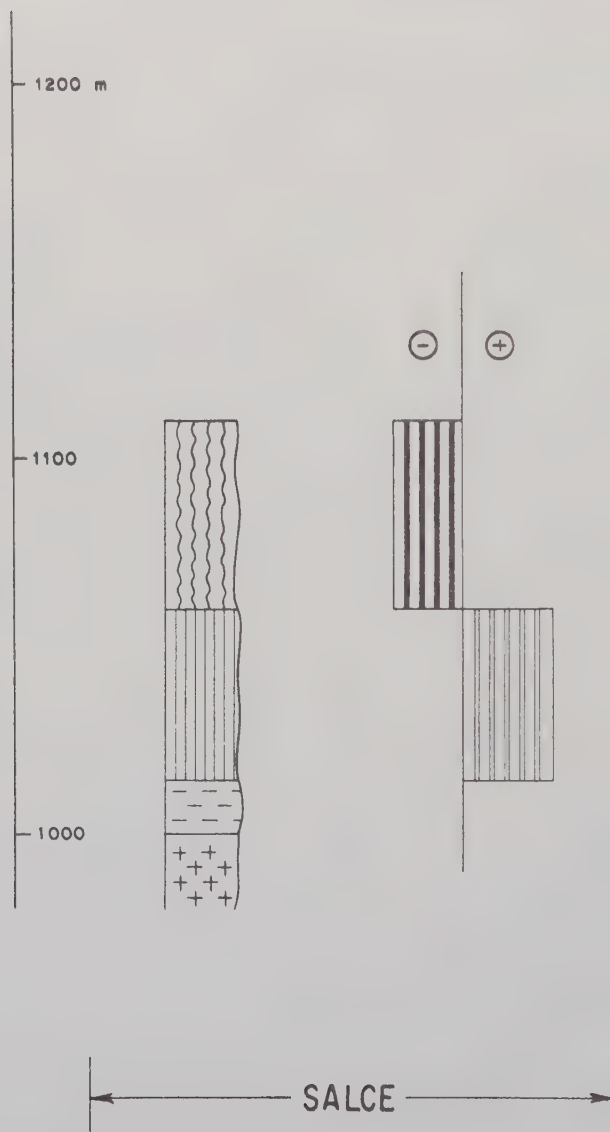


Fig. 93

les rapports entre la phonolite et les basaltes sont difficiles à préciser. Du point de vue pétrographique, nous signalerons que le basalte de Salce n'a pas de phénocristaux d'augite. L'analyse de l'aimantation d'échantillons prélevés près de la cote 1039 m au Sud-Est du piton de phonolite entre 1030 et 1070 m donne les directions suivantes :

Basaltes compacts :

	I	D	α 95
B 38	+ 66°	60° E	
B 32	+ 54°	54° E	
B 31	+ 49°	7° E	
Résultante	+ 59°	37° E	28°

Les phonolites par contre présentent une aimantation inverse et l'on obtient les résultats suivants :

	I	D	α 95
B 33	- 58°30	179°30 W	
B 34	- 48°	124° E	
B 35	- 41°30	134°30 W	
B 36	- 50°30	171°30 W	
Résultante	- 56°	178° W	31°30

Conclusion :

A Salce, si les basaltes compacts présentent une direc-

tion d'aimantation voisine de la direction d'aimantation des basaltes compacts d'Araules, l'aimantation des phonolites est très différente. Ce suc est comparable aux coulées de phonolite rencontrées au niveau du Massif du Lizieux que nous savons être postérieures aux basaltes compacts et semi-porphyroïdes. La phonolite de Salce paraît donc postérieure aux basaltes à gros cristaux.

β) Les basaltes semi-porphyroïdes et la phonolite de la Chaud de Carle.

- Les données géologiques :

Au niveau de la Chaud de Carle le basalte β° semble ennoyer un dyke de phonolite. Il est très difficile en effet, à ce niveau-là, de préciser les rapports entre les deux formations. Par contre, à l'Est de la Chaud de Carle, la coulée de phonolite qui descend de Lizieux semble bien postérieure aux basaltes semi-porphyroïdes comme l'a montré BOULE (1893).

Du point de vue pétrographique le basalte semi-porphyroïde présente à l'oeil nu d'assez gros cristaux de pyroxène.

En lame mince, on reconnaît dans une structure porphyrique des phénocristaux d'augite titanifère et d'olivine transformée en Iddingsite tandis que les microlites sont essentiellement constitués par du Labrador, de l'Augite et de l'Olivine. Les minéraux opaques sont assez abondants.

Nous avons là, le faciès caractéristique des basaltes semi-porphyroïdes tout au long de la vallée de Recharinges. La pétrographie ne permet pas de faire un découpage significatif.

- Analyse magnétique :

L'aimantation des basaltes affleurant près du suc de la Chaud de Carle est complexe comme le montre le tableau suivant qui donne les directions d'aimantation mesurées sur cinq échantillons prélevés à des altitudes différentes.

Altitude	Echantillon	I	D
1130 m	Basalte B 9	+ 63°	2°30 W
1130-1140 m	" B 7	- 44°	78° E
1140-1150 m	Arg. roug. B 6	+ 42°	115° E
1150-1160 m	Basalte B 5	- 30°	6° W
1170 m	Phonolite B 4	- 65°30	176° E

L'aimantation portée par les blocs B 5, B 9 et B 4 est une aimantation thermorémanente caractéristique. De même l'échantillon B 6 prélevé sur des argiles cuites présente les caractères d'une aimantation thermorémanente. En ce qui concerne B 7 la direction est très incertaine car elle fluctue beaucoup dans les stades de désaimantation supérieurs à 200 Oersted. Bien que les aimantations soient dans la plupart des cas des ATR les résultats ne sont pas cohérents. En effet B 5 qui semble recouvrir les argiles rouges correspondant à B 6 n'a pas la même direction d'aimantation que celle mesurée sur ces argiles. Cette dispersion est peut être due à l'intrusion des phonolites à travers les couches supérieures de basaltes. Dans ces conditions, seuls les échantillons B 9 (basalte prélevé au niveau du ruisseau) et B 4 (phonolite de la Chaud de Carle) seraient caractéristiques.

8) De la Chaud de Carle à Reynier. (Fig 9h)*

Entre Recharinges et Reynier on ne rencontre que des coulées de basalte β . On trouvera dans le diplôme de M. MACLE une discussion sur les coupes qu'il a relevées. Nous résumerons ses observations en disant qu'il y a au moins quatre coulées entre le fond de la vallée de l'Auze et la route qui relie Recharinges et Araules.

* légende page 162 .

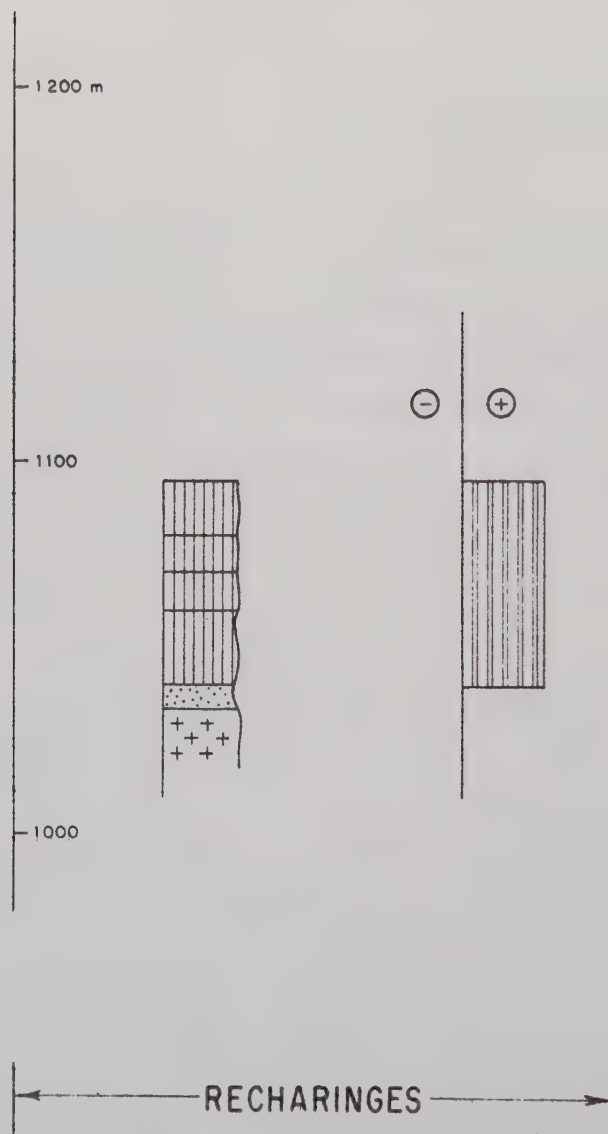
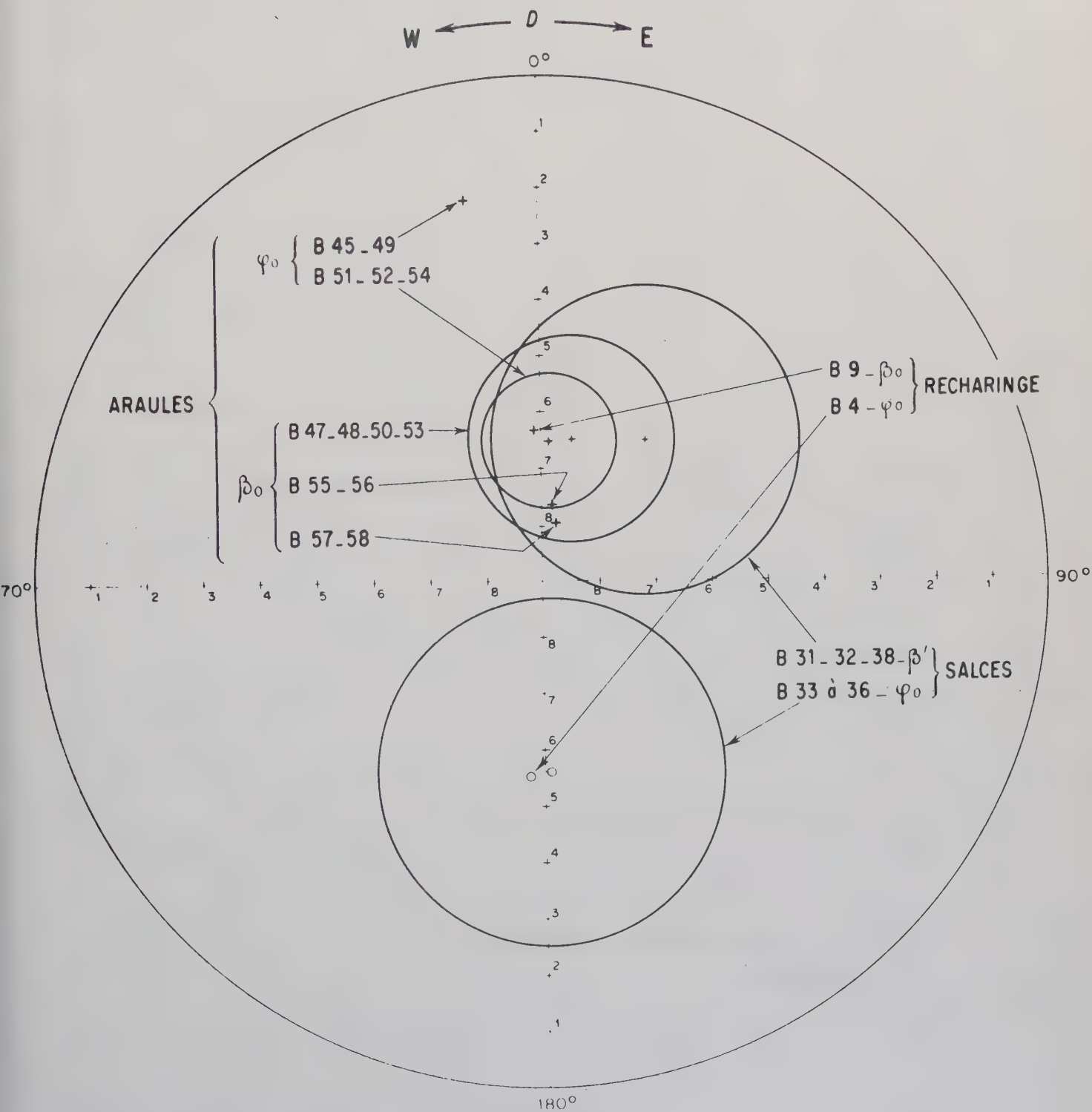


Fig. 94

DIRECTIONS D'AIMANTATIONS DES LAVES RIVE GAUCHE DE LA VALLEE DE L'AUZE



Les mesures magnétiques montrent que les coulées inférieures que l'on peut suivre depuis la Chaud de Carle jusqu'à Reygnier présentent une inclinaison de l'ordre de $+ 65^\circ$ et une déclinaison voisine de 0° . Les nappes supérieures de basalte sont séparées des coulées précédentes par une bande d'argile rouge, bien développée tout au long de la vallée. Ce niveau argileux qui affleure entre 1130-1140 m au niveau de la Chaud de Carle s'abaisse à 1050 m au niveau de Reygnier. Les basaltes qui le recouvrent présentent une aimantation normale caractérisée par de fortes déclinaisons (50° 60°) Est. Enfin, dans les épanchements les plus supérieurs, existent près de Salreupt des niveaux de basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse qui alternent avec des niveaux à aimantation normale de faible inclinaison.

8) Conclusion.

De Recharinges à Araules, la série volcanique qui débute par des trachytes inférieurs, réduits, près de Salce comprend ensuite des basaltes compacts à aimantation normale qui reposent en général sur des niveaux d'argile sableuse ou sur le granite. Ça et là s'intercalent des niveaux de phonolite à aimantation normale. Les basaltes compacts sont surmontés par des basaltes semi-porphyroïdes en majeure partie à aimantation normale. A leur sommet, toutefois, nous trouverons des basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse mêlés à des coulées à faible inclinaison. Enfin, la série des basaltes semi-porphyroïdes est certainement surmontée par des phonolites à aimantation inverse. Sur la figure 95 nous avons rassemblé quelques directions d'aimantation mesurées dans la vallée de l'Auze. Mise à part les phonolites de Araules à faible inclinaison la direction d'aimantation ne permet pas de distinguer des groupes. L'ensemble est très homogène.

c) Le ruisseau de Bellecombe. (fig. 96)

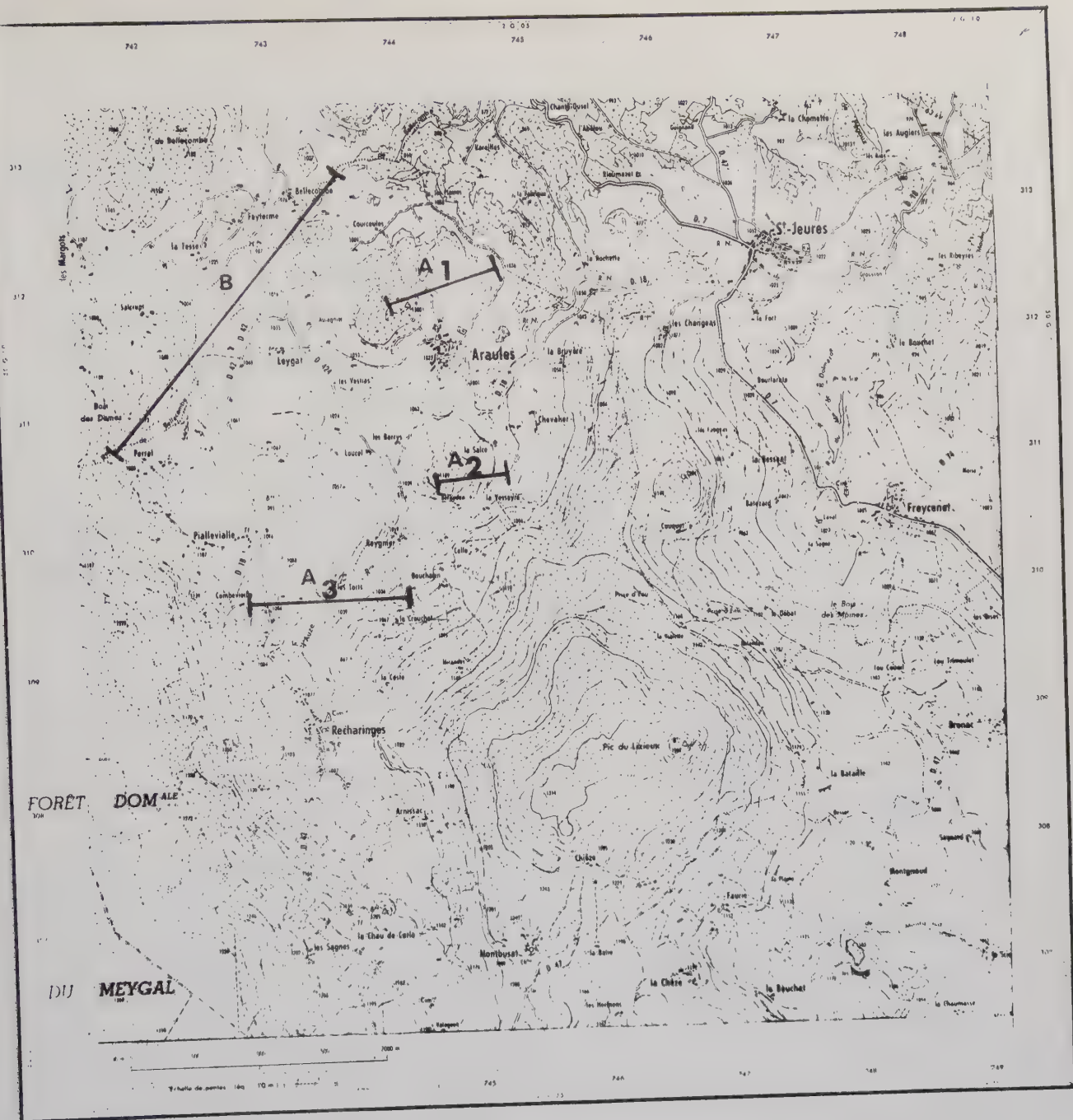


Fig.96 - Carte topographique de la Vallée de l'Auze
et de la vallée de Bellecombe -

A) - Coupes paléomagnétiques de la Vallée de
l'Auze

A₁ - Araules - A₂ - Salces - A₃ - Recharinges.

B) - Coupe paléomagnétique du ruisseau de Bellecombe.

α) Données géologiques.

Nous résumerons les observations de M. MACLE en disant : sur le granite, parfois décomposé en arkoses, repose une succession de cinq coulées de basaltes semi-porphyroïdes. Ce basalte présente exactement le même faciès que dans la vallée de Recharinges. On y trouve en effet essentiellement des phénocristaux d'Augite titanifère et d'Olivine altérée tandis que les microli-
tas contiennent du Labrador, de l'Augite et de l'Olivine.

β) Données magnétiques (fig. 97)[†]

Du point de vue magnétique les éléments sont très homogènes. La coulée inférieure, en contact avec le granite, présente une aimantation inverse alors que les quatre coulées supérieures portent une aimantation normale. Nous pouvons résumer les résultats d'après le tableau suivant :

		I	D	α 95
Coulée inférieure 1000-1020 m	C 4	- 10°	176° E	ARI
	C 34	- 45°	10° E	ARI
Résultante.		Négative		-
2ème coulée 1020-1030 m	C 6	+ 39°	39° E	
	C 7	+ 41°	33° E	
	C 8	+ 57°	17° E	
Résultante		+ 46°	31° E	19°
3ème coulée 1030-1055 m	C 23	+ 70°	22°30 E	
	C 24	+ 64°30	29°30 E	
	C 25	+ 42°	1° E	
	C 26	+ 66°30	6° 30 E	

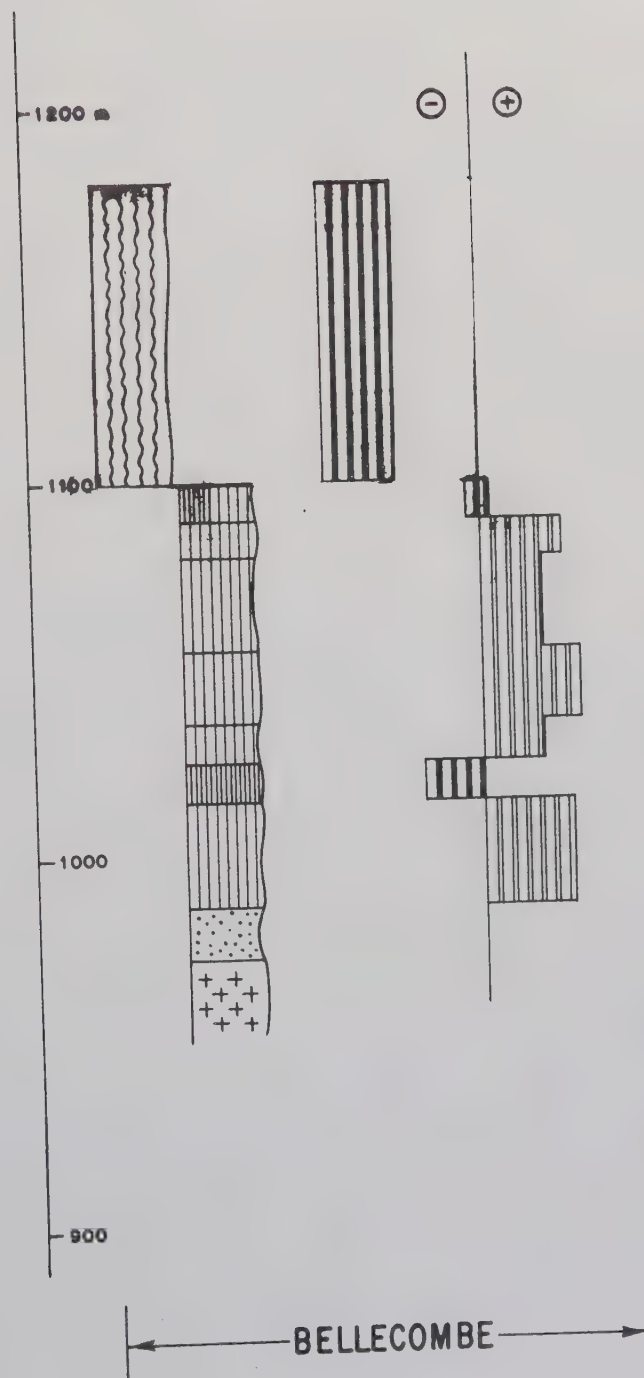


Fig. 97

3ème coulée 1030-1055 m	C 9	+ 68°30	66°30 E	
	C 10	+ 61°	23°30 E	
	C 11	+ 68°	1° W	
	C 19	+ 57°30	2° E	
	Résultante	+ 63°30	16° E	9°
4ème niveau 1055-1080 m	C 20	+ 42°	58° E	
	C 21	+ 64°30	70° E	
	C 22	+ 62°30	61 ° E	
	Résultante	+ 56°30	62° E	19°30
	C 15	+ 49°	4° W	
	C 16	+ 45°30	0°30 E	
	C 17	+ 46°30	2°30 W	
	Résultante	+ 47°	2° W	3°30
	C 31	+ 36°	67° W	
	C 32	+ 58°30	66°30 W	
	C 33	+ 61°30	70°30 W	
	Résultante	+ 52°	68° W	21°30
5ème coulée 1080-1090 m	C 29	+ 58°30	21° W	
	C 30	+ 53°	23°W	
	Résultante	+ 56°	22° W	
Résultante générale				

M. MACLE a complété cette étude par des mesures au niveau du hameau de Bellecombe. Il trouve les résultats suivants :

		I	D	95
1ère coulée 987-1020 m	C 1	+ 60°	0°	
	C 2	+ 70°	19°30 W	
	C 3	+ 74°30	3° W	
Résultante		+ 68°30	6° W	12°30
2ème coulée 1020-1030 m	C 37	- 43°	128° W	-
3ème coulée 1030-1060 m	C 35	+ 68°30	68°30 W	
	C 36	+ 60°	34° W	
Résultante		+ 65°	48° W	

Enfin près de la Beyssache, à 1090 m, on rencontre une coulée dont les aimantations sont caractérisées par des inclinaisons oscillant entre + 10 et - 11° pour les stades de désaimantation de 2 Ampères et de 5 Ampères et des déclinaisons voisines de 90° W. Notons aussi que ces coulées présentent des courbes de désaimantation semblables à celles obtenues pour la coulée supérieure à Salreupt et pour les échantillons C 29 à C 33*. Dans ces trois séries de prélèvement on note que l'aimantation paraît instable et qu'elle tend vers une direction caractérisée, dans les stades élevés de désaimantation, par une déclinaison W extrêmement forte, accompagnée d'une inclinaison faible. On pourrait penser que l'aimantation visqueuse joue un rôle prédominant; mais devant la généralisation de ce fait on peut aussi considérer que ces niveaux

* Fig. 97bis

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS C29 à C33

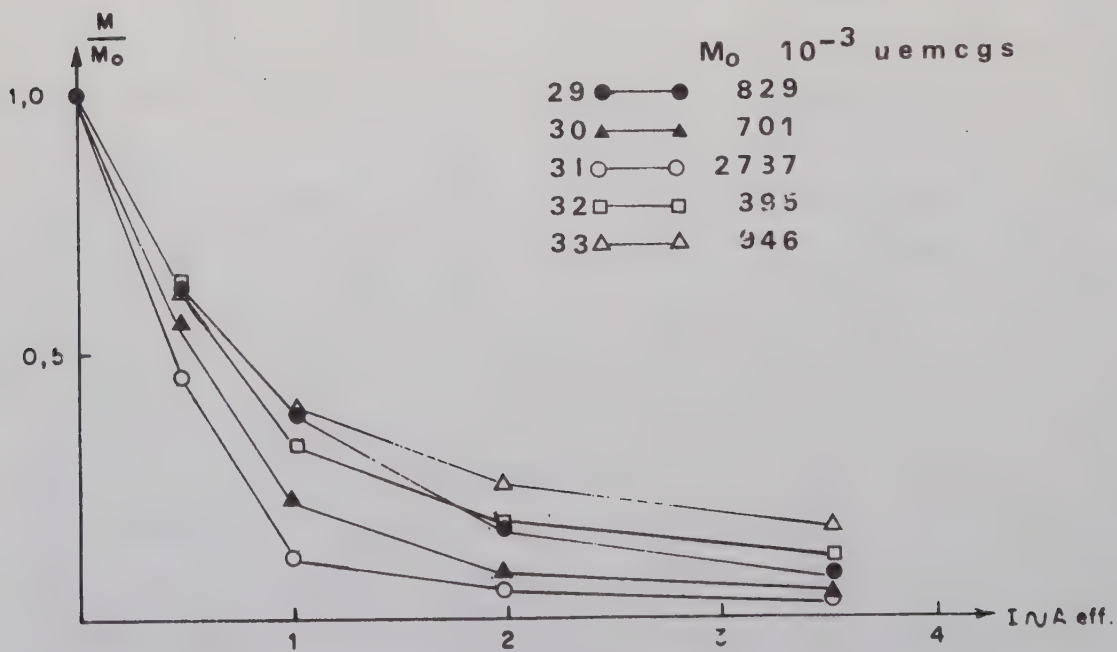
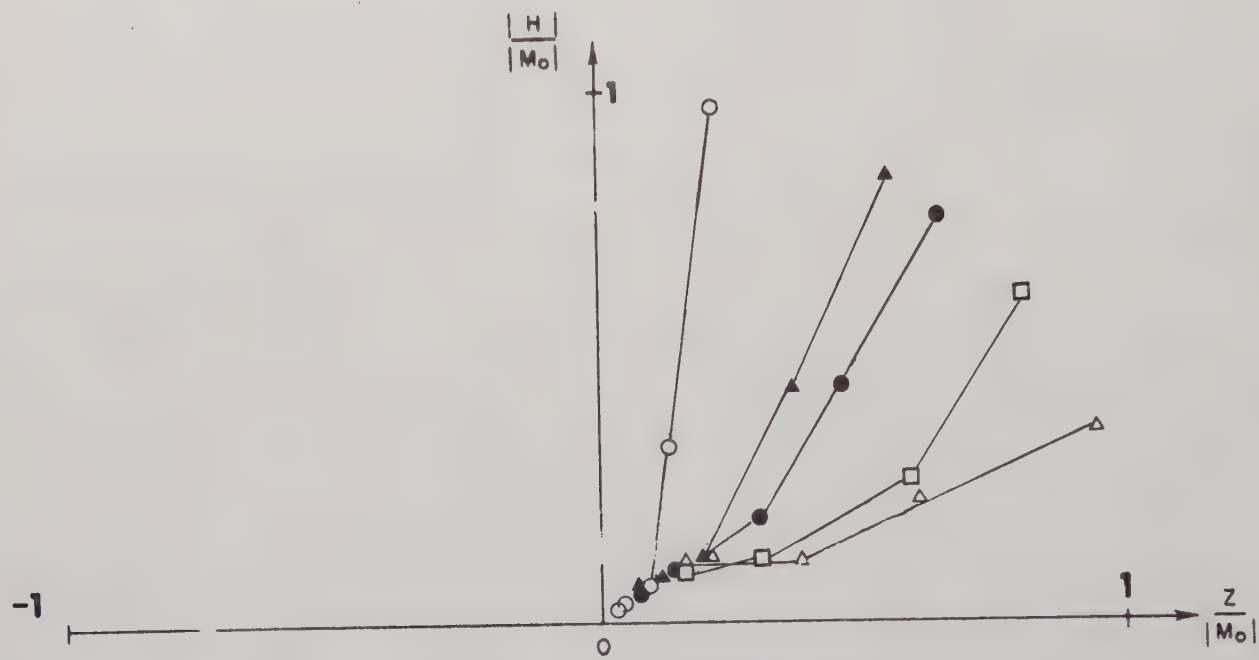


Fig:97bis

sont porteurs d'aimantations acquises pendant des phases de transition du champ géomagnétique. Nous verrons plus loin apparaître un phénomène semblable dans la vallée de l'Aubepin. Nous discuterons alors de sa signification.

La coulée inclinée de Courcoules donne une direction d'aimantation qui la rattache à la 3ème coulée de Bellecombe comme le montre le tableau suivant :

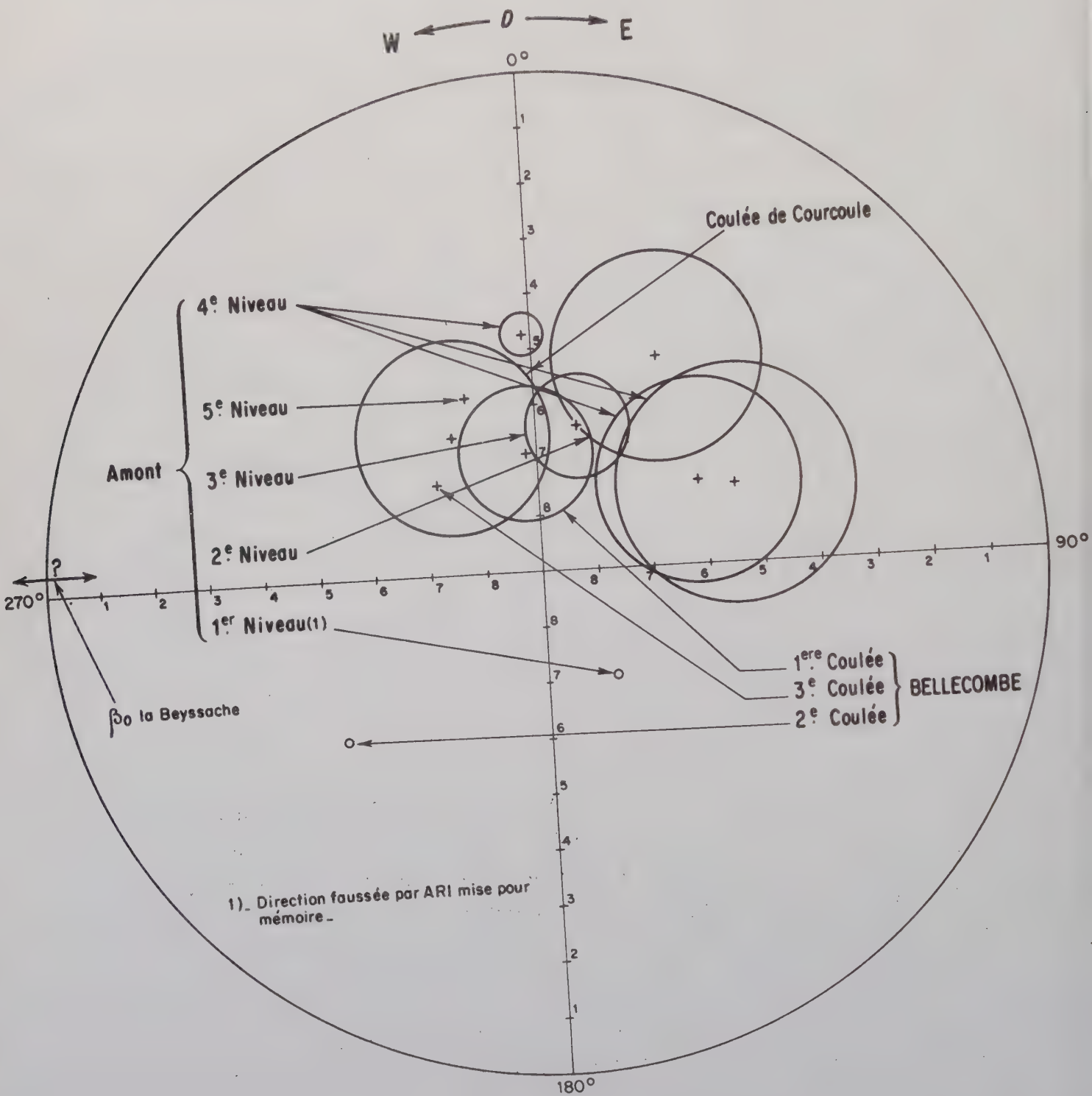
	I	D	α 95
B 59	+ 62°	37° E	
B 60	+ 59°	35° W	
B 61	+ 58°	27° W	
B 62	+ 47°	62° W	
B 63	+ 62°	40° W	
Résultante	+ 61°30	30°30 W	18°

Cette coulée de Courcoules serait encastrée dans le fond d'une vallée. Enfin la phonolite du suc de Bellecombe présente une aimantation inverse.

γ) Conclusion :

Au niveau du ruisseau de Bellecombe les basaltes β . se sont épanchés dans une ancienne dépression entaillée dans le granite et les sédiments oligocènes. Au pied du hameau de Bellecombe la première coulée à aimantation normale est recouverte par un niveau à aimantation inverse lui-même surmonté par des épanchements à aimantation normale. Dans les autres coupes nous retrouvons un schéma semblable sauf en amont du ruisseau où la série est réduite au second et troisième terme. Nous devons rappeler qu'il existe

DIRECTIONS D'AIMANTATIONS DES LAVES DU RUISSEAU DE BELLECOMBE



peut-être à Salreupt et la Beyssache un épisode marqué par des directions d'aimantation anormales. Cet épisode s'intercalerait dans le troisième niveau ou le couronnerait.

Les basaltes β_0 ne sont donc pas homogènes comme le pensait M. PREVOT. Nous retrouvons ici des résultats comparables à ceux que nous avons trouvés au niveau des Vastres et au niveau de la série de Champagnac-Champclause. Au Nord du complexe Meygal-Mézenc les basaltes semi-porphyroïdes recouvrent au moins quatre périodes de champ géomagnétique.

II) LE VERSANT OCCIDENTAL DU COMPLEXE MEZENC-MEYGAL.

1) L'extrémité Nord Nord-Ouest du Massif du Meygal.

a) La Haute-Vallée du ruisseau de Ramel

entre les hameaux de Chazeaux et Monibrand. (fig. 99)

Le ruisseau qui court en contrebas de Chazeaux jusqu'au hameau du Ranc a entaillé la série volcanique ce qui permet d'en établir la stratigraphie. Les basaltes semi-porphyroïdes qui constituent l'essentiel de cette région sont dominés par la phonolite qui les relie à la région de Queyrières que nous étudierons plus loin.

M. MACLE a mis en évidence l'existence de quatre coulées superposées (fig. 100)*. La coulée de base s'intercale dans des niveaux d'argile sableuse ou d'arènes granitiques.

Du point de vue pétrographique il s'agit essentiellement de basaltes semi-porphyroïdes au faciès semblable à celui des basaltes du ruisseau de Bellecombe et de la vallée de l'Auze.

Nous rappellerons brièvement les résultats paléomagnétiques obtenus par M. MACLE :

		I	D	95
1ère coulée 980-1000 m	D 15	+ 25°30	105°30W	
	D 16	+ 30°	106° W	
	Résultante	+ 28°	106° W	
2ème coulée 1000-1020 m	D 12	- 25°30	114°30W	
	D 13	- 35°	134° W	
	D 17	- 56°	112° W	
	Résultante	- 39°30	122° W	29°

* légende page 162.

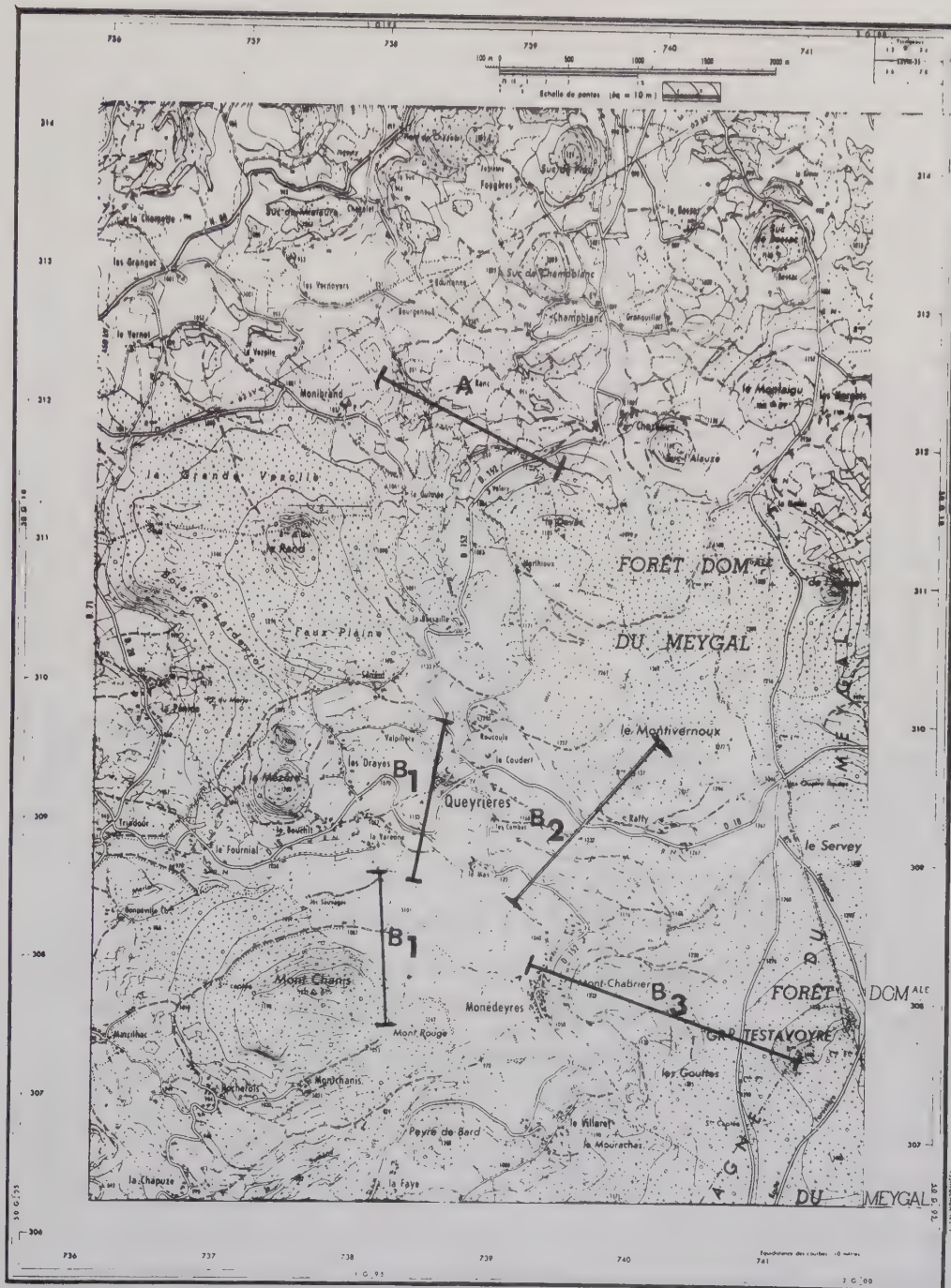
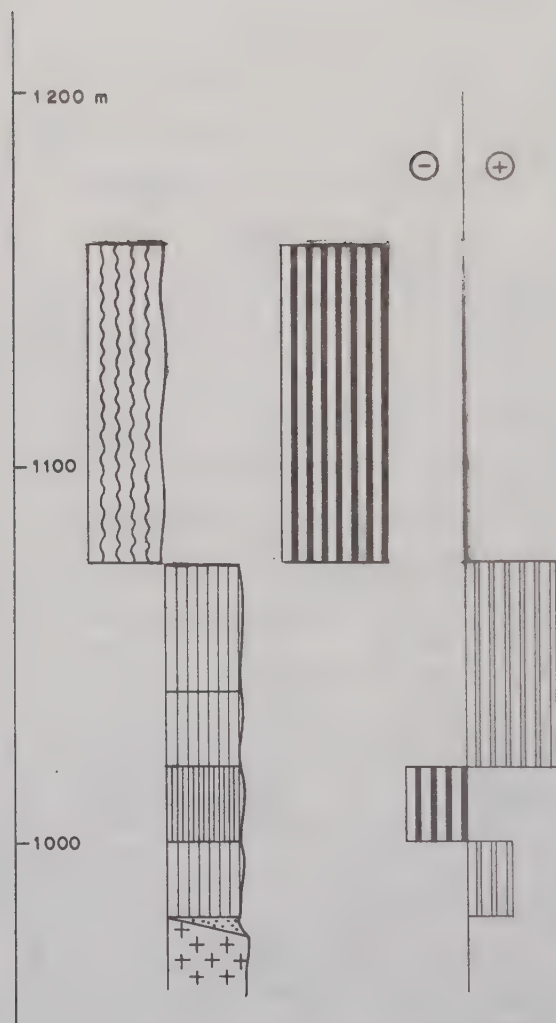


Fig. 99 - Carte topographique du N.W. du
Massif du Meygal

A - Coupe paléomagnétique du ruisseau de Ramel.
B - Coupes paléomagnétiques de la région de
Queyrières.



CHAZEUX
BOIS DES DAMES

Fig. 100

		I	D	α_{95}
3ème coulée 1020-1040 m	D 8	+ 72°30	1° W	
	D 9	+ 68°30	6°30 W	
	D 10	+ 45°30	19°30 E	
	D 11	+ 43°	8°30 W	
	D 14	+ 55°	21° W	
	Résultante	+ 58°	3° W	15°
4ème coulée 1040-1075 m	D 2	+ 48°	20° E	
	D 6	+ 44°	28° E	
	D 7	+ 64°30	9°30 E	
	Résultante	+ 52°30	20°30 E	18°30

Remarque : Nous rappellerons que dans la troisième coulée apparaissent par endroits des horizons enrichis en phénocristaux d'Au-gite et que les prélèvements D 6 et D 7 ont été effectués dans des argiles rouges qui supportent la quatrième coulée.

Nous retrouvons une disposition semblable à celle que nous avons vue en contrebas de Bellecombe où la série débute par une coulée à aimantation normale comprise entre 987 m et 1020 m alors qu'ici nous la trouvons entre 980 m et 1000 m. La deuxième coulée à aimantation inverse rencontrée à Bellecombe entre 1020 m et 1030 m se situe ici entre 1000 et 1020 m (Soulignons la parenté des déclinaisons comprises entre 110° et 130° W et des inclinaisons). Enfin une troisième coulée à aimantation normale surmonte ce niveau inverse. Elle s'étage à Bellecombe de 1030 m à 1060 m et se situe près de Chazeaux entre 1020 m et 1040 m. Il semble donc bien que dans toute la partie Nord-Est du massif on ait une disposition uniforme, soulignée par la présence d'un niveau à aimantation inverse à la base de la série des basaltes

DIRECTIONS D'AIMANTATIONS DES LAVES DU RUISSEAU DE RAMEL

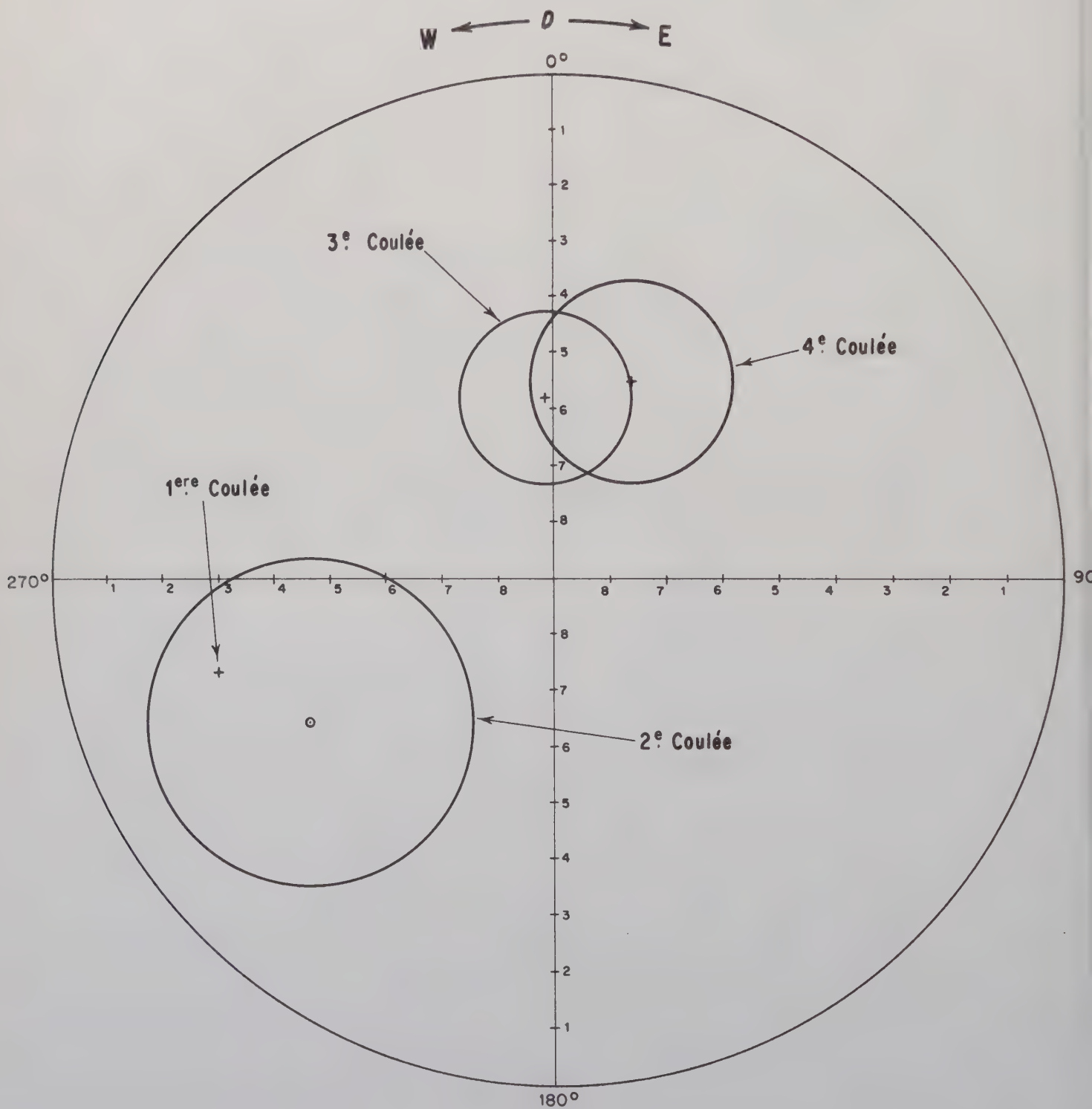


Fig. 101

semi-porphyroïdes. Signalons que la phonolite qui surplombe la série de Chazeaux se raccorde à la phonolite du Bois de Dames dont l'aimantation mesurée à 1160 m est $I = - 69^\circ$ $D = 167^\circ$ W. Sur la figure 101 nous avons reporté les directions d'aimantation mesurées. Nous noterons la forte déclinaison Ouest des niveaux de base.

b) La vallée de Queyrières ; la haute vallée du ruisseau de la Sumène. (fig. 99)

Les membres de la Société Géologique et en particulier BOULE et TERMIER ont déjà beaucoup discuté sur la structure de cette région. La stratigraphie, pour l'essentiel, correspond bien à la description qui en est faite par BOULE dans les pages 102, 103 et 104 de sa thèse (1893) et (fig. 102 et 102bis). M. MACLE (1967), toutefois, a apporté quelques observations personnelles supplémentaires qui ne sont, en général, que des observations de détail. Il suppose en particulier l'existence d'une faille à l'intérieur du système. La succession pétrographique est bien résumée par BOULE à qui nous emprunterons les lignes qui suivent (page 109) :

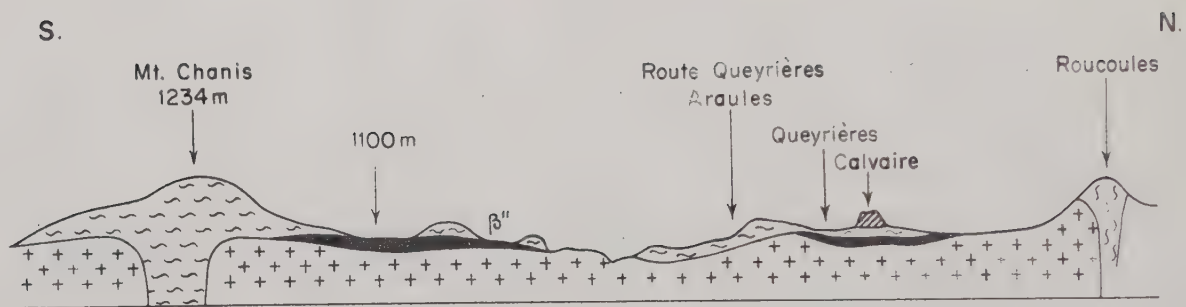
"Dans le Massif du Meygal on observe la succession suivante :

- Basaltes supérieurs β^0 et β^1
- Phonolites φ^0
- Basaltes porphyroïdes et compacts β^1
- Andésites et Labradorites augitiques α^1 λ^1
- Trachytes inférieurs τ^1
- Basaltes inférieurs β'' b

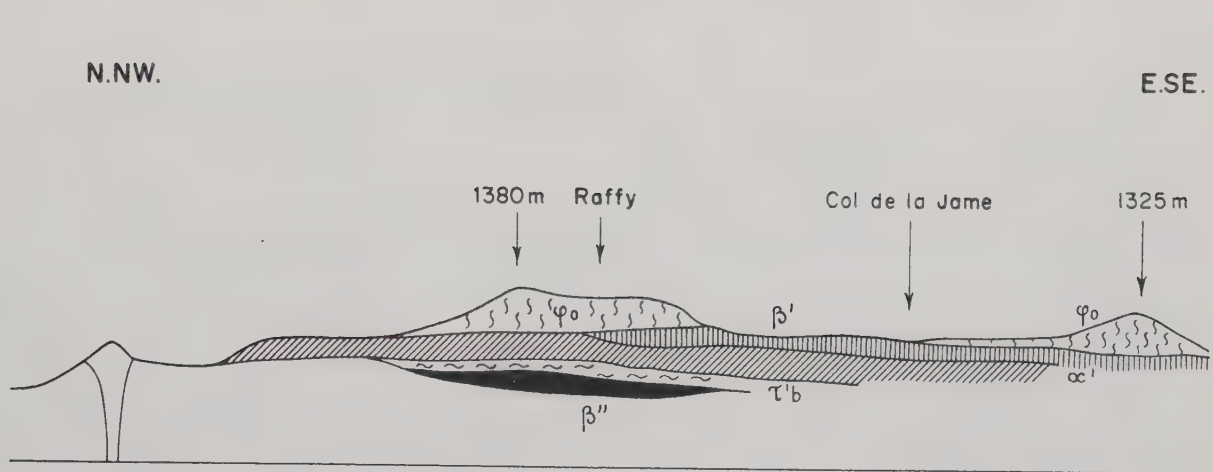
Cette série est très voisine dans ses grands traits de la série du Mézenc. Il y a pourtant deux différences :

- 1) L'absence de Trachytes augitiques τ^1
- 2) Le Basalte porphyroïde paraît occuper un niveau stratigraphique plus élevé."

Pour faire coïncider les séries du Mézenc et du Meygal, BOULE suggère d'abord que les α^1 λ^1 de Queyrières correspondent peut-être aux β^1 du Mézenc ce qui amènerait les basaltes porphyroïdes de Raffy à être équivalents aux basaltes semi-porphyroïdes



COUPE TRANSVERSALE DE ROUCOULES AU Mt. CHANIS
(d'après M. BOULE 1893)



COUPE TRANSVERSALE DE RAFFY AU COL DE LA JAME (d'après
M. BOULE 1893).

du Mézeno. Mais plus loin il rejette cette interprétation, préférant se limiter à celle qui parallélise les basaltes porphyroïdes de Raffy et ceux du Mézeno. Nous verrons qu'il est peut-être utile de revenir sur ce point à la lumière des résultats paléomagnétiques.

Nous avons déjà résumé les résultats des mesures magnétiques que nous avons obtenus dans cette région (C. BOBIER et M. MACLE, 1967). Nous reprendrons parfois les termes que nous utilisions alors en rectifiant les altitudes à la lumière des nouvelles données de la carte topographique.

d) La série inférieure rencontrée entre Mont-Chanis et Queyrières présente une aimantation normale uniforme. (fig. 102 et 103)*.

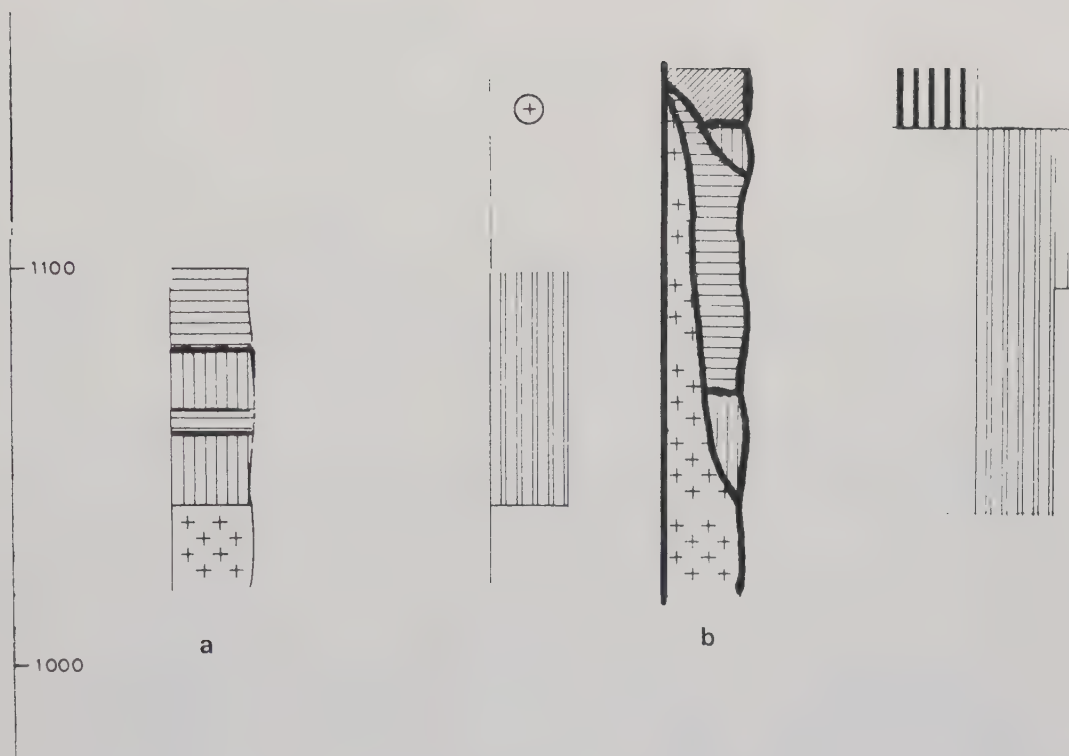
"La base de la série est visible, entre 1045 m et 1055 m, au Sud-Ouest du village de Queyrières, sur le chemin qui va du hameau de La Varenne aux fermes des Sauvages. Reposant sur le granite, on trouve, séparés par des niveaux d'argile ocre ou rouge des coulées de basaltes dans lesquelles s'intercale une venue de trachytes. Le tout est couronné par une coulée de trachyte T^b qui supporte la ferme de Barrot et se raccorde aux dômes trachytiques du Mont Chanis. Toutes ces laves portent une aimantation normale. La nappe de trachytes à aimantation normale se prolonge d'ailleurs au Sud-Est de Queyrières jusqu'au hameau du Mas où elle disparaît sous une masse de trachytes dont l'aimantation est inverse.

Les affleurements de basalte inférieur que l'on retrouve de part et d'autre du calvaire de Queyrières présentent aussi une aimantation normale alors que les labradorites du calvaire ont une aimantation inverse".

Les directions d'aimantation sont les suivantes :

		I	D	α 95
Basaltes inférieurs Sud de la Varenne 1ère coulée (1045-1055 m)	F 1	+ 32°	7° W	
	F 2	+ 30°30	8°30 W	
	Q 12	+ 30°	9° W	
	Résultante	+ 31°	8° W	2°

* légende page 162.



Série de Queyrières au Mont Chanis

- a) - De Varenne à la ferme de Barrot.
- b) - De Queyrières à Varennes.

2ème coulée (1060-1075 m)	F 6	+ 48°	14°30 E	
	F 7	+ 47°	6° W	
	F 8	+ 50°	16°30 E	
	F 9	+ 44°30	6° W	
	Résultante	+ 48°	4°30 E	10°
Coulée de la Route d'Yssingeaux	A 32	+12°30	19° E	
	A 33	+ 12°	9°30 E	
	Résultante	+ 12°30	14°30 E	
Trachytes τ^b Niveau inférieur Sud de la Varenne 1055-1060 m	F 3	+ 49°	32°30 W	
	F 4	+ 47°	29° W	
	Q 13	+ 48°	37°30 W	
	Résultante	+ 48°	33° W	4°30
Mt Chanis 1075-1085 m	F 12	+ 41°	60°30 E	
	F 22	+ 63°	20° W	
	F 23	+ 62°	5°30 E	
	Résultante	+ 60°30	23°30 E	40° !
Butte de Queyrières				
	F 13	+ 60°	37° E	-
Phonolites ψ^o supérieures La Beyssaille 1120 m				
	D 4	+ 50°30	49°30 W	
	D 5	+ 73°30	137°30 W	
	Résultante	+ 65°30	69° W	-

Le Rand 1140 m	R 1	- 50°30	50° W	
	R 2	- 45°30	9°30 E	
	Résultante	- 52°	18°30 W	-
Le Rand 1180 m	R 3	+ 50°	36° W	-

A la lecture de ce tableau on est frappé par l'équivalence entre les Trachytes de Queyrières et les Trachytes que l'on rencontre au niveau du Mont-Chanis. Cet ensemble s'oppose aux Trachytes de Monédeyres qui comme nous le verrons ont une aimantation inverse.

Rappelons que BOULE avait déjà pressenti l'identité des Trachytes de Queyrières et du Mont-Chanis (Trachytes à hornblende et aegeryne) qui forment un ensemble distinct des Trachytes porphyroïdes de Monédeyres. Le paléomagnétisme confirme donc bien ici les observations pétrographiques.

Il faut aussi noter la parenté entre les Phonolites de la Beyssaille et les Phonolites du niveau supérieur du Rand. On peut donc penser que les Phonolites de la Beyssaille ne sont que des fragments des coulées supérieures du Rand qui se sont étendues jusqu'au niveau des Queyrières, et que ces Phonolites comporteraient bien un niveau inverse à la base surmonté par un niveau normal au sommet.

Enfin, nous devons nous arrêter sur le basalte β^0 qui partant du Sud-Est du Mas s'étend à l'Est de la série du Mt-Chanis. Il pose un problème. Les mesures magnétiques donnent les résultats suivants :

- Près de Monédeyres :

- 1er niveau : 1040 m

	I	D	α 95
F 18	+ 49°30	11° E	
F 19	+ 53°	3° E	
Résultante	+ 51°30	7° E	

- 2ème niveau : 1050 m (Entre Monedeyre et Mt-Chanis)

	I	D	α 95
E 5	+ 48°	17°30 E	
E 6	+ 45°30	30° E	
E 7	+ 46°	29°30 E	
Résultante	+ 46°30	26° E	7°30

Près du col qui sépare le Mt-Chanis du Mt-Rouge nous avons retrouvé, à 1090 m, des basaltes semi-porphyroïdes dont les directions d'aimantation sont les suivantes :

	I	D	α 95
F 20	+ 40°30	38°30 E	
F 21	+ 63°30	24°30 E	
Résultante	+ 52°	33°30 E	

Près du Mas.

Le hameau du Mas est adossé à un dyke de basaltes β^0 qui culmine à 1120 m d'altitude et dont les aimantations sont les suivantes :

	I	D	α 95
F 14	+ 70°30	10°30 W	
F 17	+ 66°	4° W	
Résultante	+ 68°30	7° W	

Par contre, à la bordure N-E du hameau, dans le virage de la route qui va de Queyrières à Monedeyres, on trouve des brèches basaltiques signalées par BOULE et des filons de basaltes qui traversent des dépôts de pente. Les études paléomagnétiques réalisées sur ces brèches et sur ces filons donnent les résultats suivants :

		I	D	α 95
Brèches basalti- ques	A 25	- 57°30	178° W	
	A 26	- 57°30	167° W	
	A 27	- 71°30	160° W	
Filon	Q 24	- 54°30	165° W	
	Résultante	- 60°30	168° W	9°30

L'ensemble de ces résultats montre que :

1 - l'affleurement de basalte comporte deux niveaux :

- un niveau à aimantation normale à la base
- un niveau à aimantation inverse postérieur

2 - Les dykes de basaltes qui traversent les dépôts de pente sont bien contemporains des brèches basaltiques étudiées par BOULE.

BOULE avait adopté l'hypothèse selon laquelle ces ba-

saltes étaient postérieurs à toute la série de Queyrières car on trouve dans les brèches basaltiques des éléments variés : granite, galets d'argiles oligocènes, trachytes, andésites, basaltes porphyroïdes. Il avait toutefois signalé la parenté possible de ces basaltes avec les basaltes inférieurs du Mt-Chanis et de Queyrières. La comparaison des directions d'aimantation montre bien que, le second niveau de basaltes inférieurs que nous avons trouvé entre Queyrières et Mt-Chanis intercalé entre des trachytes pourrait correspondre aux coulées basaltiques qui atteignent le fond de la vallée de Monedeyres, et ce d'autant plus qu'il se situe à peu près à la même altitude. Une partie du basalte β'' à aimantation normale serait ainsi l'équivalent des basaltes inférieurs et serait antérieur au niveau des trachytes du Mt-Chanis. Ceci d'ailleurs semble assez en accord avec les observations de terrain. Ces basaltes β' qui affleurent entre Mt-Chanis et le Mt-Rouge à une altitude assez élevée semblent bien recouverts par la nappe témoin de trachytes à laquelle s'adosse l'ancienne ferme de Barrot au Nord de Mt-Chanis. Seules les brèches basaltiques et les dykes qui recoupent les dépôts de pente postérieurs aux basaltes porphyroïdes seraient des vrais β^0 et pourraient correspondre aux premières venues de basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse telles que nous les avons rencontrées à Chazeaux, à Bellecombe et aux Soutour, où aux coulées inverses rencontrées au dessus de Champclause.

β) La série de Raffy à aimantation inverse (fig. 102bis et 104)⁺

M. MACLE a donné la structure de détail de la série de Raffy. Du point de vue paléomagnétiques les résultats peuvent être résumés de la façon suivante :

+ légende de la figure 104 - page 162.

		I	D	α 95
φ° 1300-1370 m	A 9	- 43°30	177° W	
	A 12	- 52°30	134° E	
	Résultante	- 50°30	161° E	
β° 1270-1300 m	A 10	- 69°	151° E	
	A 11	- 66°30	163°30 E	
	A 22	- 76°	91° W	
	Résultante	- 76°	176°30 E	27°
α° λ° 1250-1270 m	A 13	- 44°	137°30 W	
	A 14	- 74°	161° E	
	A 16	- 52°30	163°30 E	
	A 17	- 63°	157° E	
	Résultante	- 62°	178°30 W	24°30
φ° inf. 1200-1260 m	A 23	- 58°30	159°30 E	
	A 24	- 39°30	176° E	
	Résultante	- 49°30	169°30 E	-
τ° b inf. 1150-1250 m	A 15	- 70°	115° E	
	A 18	- 71°	169° W	
	Résultante	- 74°30	152° E	-

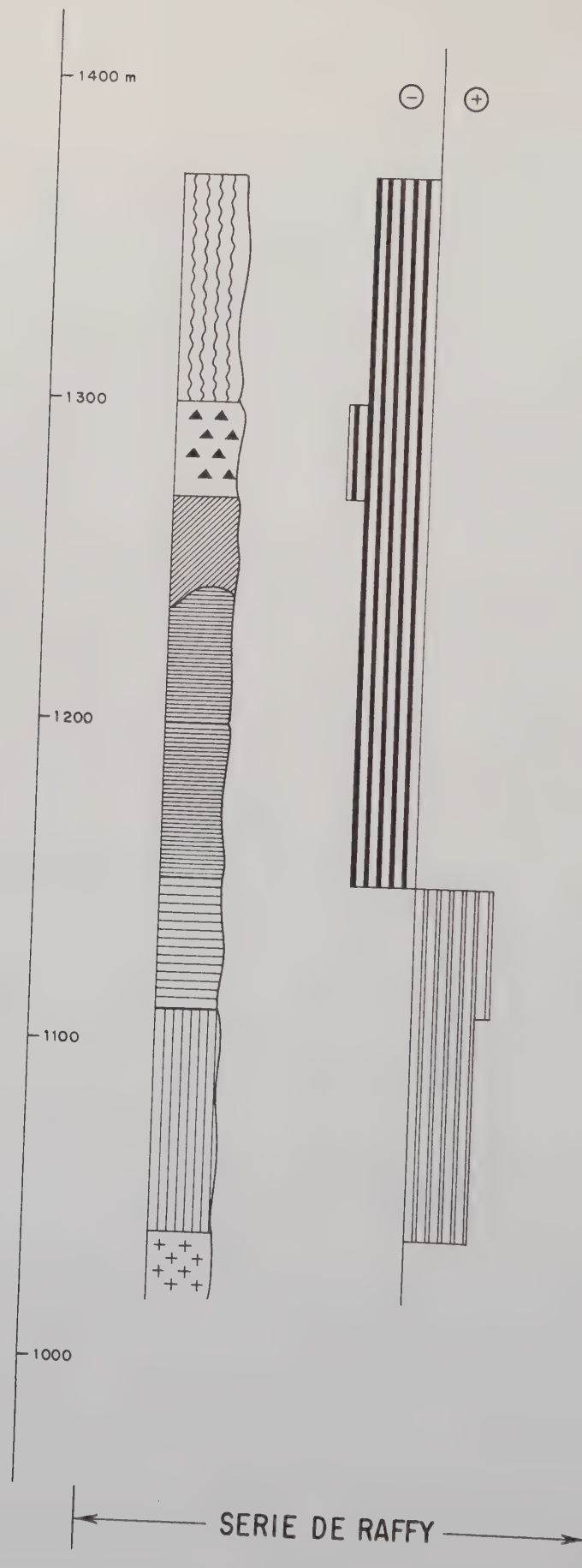


Fig. 104

τ'_b 1130-1150 m	A 19	+ 42°30	37°30 E	
	A 20	+ 70°	33°30 E	
	F 15	+ 66°	3° E	
	F 16	+ 60°30	82° W	
	Q 23	+ 66°30	77°30 E	
	Résultante	+ 58°30	21°30	58° !!

Nous pourrions donc bien reprendre les termes de la publication où nous écrivions :

"Le suc de phonolite néphélinique qui constitue la cote 1380 au Nord de Raffy repose sur une épaisse série d'andésites comparables aux andésites du calvaire de Queyrières. Une coulée de basaltes porphyroïdes (β') s'intercale entre ces deux niveaux entre Raffy et le col de la^a Jame. Cet ensemble à aimantation inverse recouvre :

- Au Nord-Est : une masse phonolitique qui se raccorde aux phonolites à aimantation inverse du Bois des Dames. En amont du ruisseau de Bellecombe à 1185 m le contact a lieu par intercalation d'argiles rouges.

- Au Sud-Ouest : les trachytes à aimantation inverse du Mas. Près de Raffy un piton de phonolites à hornblende à aimantation inverse s'intercale entre trachytes et andésites."

Y) La série entre Monedeyres et le

Meygal (fig. 105)*

Sur le flanc Nord du dôme de Monedeyres affleurent des trachy-phonolites à hornblende que P. TREMIER plaçait sous les trachytes. Cet affleurement nous paraît au contraire reposer sur les trachytes à hornblende de Monedeyres. Les résultats paléomagnétiques sont résumés dans le tableau suivant :

* légende page 162.

		I	D	295
Phonolites sup. 1320-1340 m	M 4	- 31°	146°30 W	
	M 5	- 82°	130° W	
	Résultante	- 56°30	143°30 W	-
Phonolites sup. Niveau inf. 1220-1300 m	M 6	+ 64°	53° W	
	M 1	+ 67°30	47° E	
	M 2	+ 63°30	7°30 W	
	Résultante	+ 70°30	7°30 W	29°30
β_1 Niveau sup. 1160-1170 m	E 15	+ 61°30	18° E	
	E 14	+ 61°30	56° E	
	E 13	+ 47°	7° E	
	E 16	+ 39°	26° E	
	E 1	+ 59°30	43°30 E	
	Résultante	+ 55°	28° E	14°30
β_2 Niveau moyen 1150-1160 m	E 2	- 16°30	158° E	
	E 3	- 23°30	161°30 E	
	E 4	- 47°30	128° E	
	Résultante	- 30°	151°30 E	34°

β' Niveau inférieur 1135-1150 m	E 17	- 64°30	109° E	
	E 18	- 74°30	150°30 E	
	E 19	- 74°30	149° E	
	E 11	- 67°30	136° E	
	E 12	- 73°	135° E	
	Résultante	- 71°30	133°30 E	7°
1120 m	E 8	- 79°30	132° E	
	E 9	- 66°	158° E	
	E 10	- 76°30	153°30 E	
	Résultante	- 75°30	151° E	12°
Trachytes Porphyroïdes inf. 1100-1130 m	E 20	- 46°30	139° E	
	E 21	- 61°	168°30 W	
	E 22	- 55°30	163°30 W	
	Résultante	- 57°30	173° E	31°

Ce tableau montre bien que, comme nous l'écrivions, trachytes et phonolites inférieurs sont recouverts, entre Monedeyres et le Meygal par des coulées de basaltes compacts β'_b qui présentent à la base une aimantation inverse et au sommet une aimantation normale. Un niveau dont la direction d'aimantation est intermédiaire s'intercale entre les deux. Au-dessus de 1125 m les affleurements sont masqués par les éboulis mais ceux-ci contiennent des fragments de basaltes porphyroïdes β'_a . Les basaltes porphyroïdes sont donc postérieurs aux basaltes compacts à aimantation normale. Cette série est couronnée par la phonolite supérieure du Meygal qui n'affleure en place qu'à partir de 1230 m.

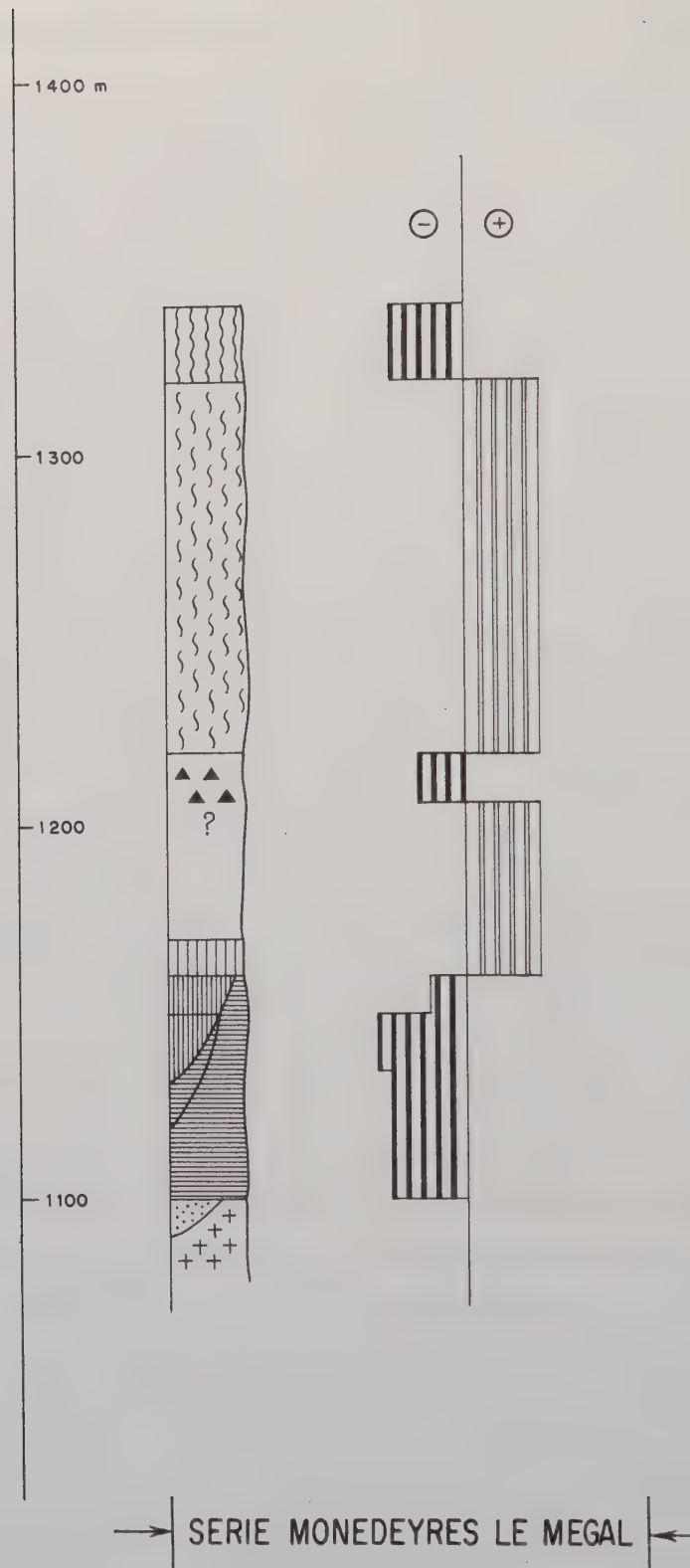


Fig. 105

Par suite de l'altération il n'est pas possible, au dessus de Monedeyres, de mesurer la direction de l'aimantation. Nous pouvons toutefois supposer qu'elle est normale. Nous avons en effet pu montrer l'existence, au dessus de Pialleviales au Nord et près du village de Boussoulet au Sud, d'une importante masse de phonolite à aimantation normale, entre 1200 et 1320 m. Par contre tous les sommets du massif du Meygal au-dessus de 1320 m présentent une aimantation inverse.

δ) Conclusion.

Si nous comparons les résultats nous constatons que les trachytes porphyroïdes inférieurs de Monedeyre se raccordent par leurs caractères magnétiques aux trachytes à aimantation inverse rencontrés entre Raffy et le hameau du Mas.

De même les trachy-phonolites de Monedeyres semblent proches des phonolites inférieures qui forment le petit piton en contrebas de Raffy. Ce qui confirmerait bien le fait qu'elles soient postérieures aux trachytes inférieurs.

Les basaltes β'_b quant à eux correspondent bien à la base des andési-Labradorites que l'on rencontre à Raffy mais ne semblent pas correspondre aux basaltes β'_a . En effet l'existence du niveau à aimantation normale qui les recouvre et qui est antérieur aux basaltes β'_a rencontrés dans les éboulis montre qu'une période de champ normal doit séparer andési-labradorites et basaltes porphyroïdes à Raffy.

Les phonolites de Raffy paraissent bien se raccorder aux phonolites supérieures que nous avons rencontrées dans tous les sommets du Meygal - Lizieux. Tandis que les premiers niveaux de phonolites du Meygal qui correspondent sans doute aux phonolites inférieures du Lizieux se raccorderaient aux phonolites supérieures du Rand. Les trachy-phonolites semblent donc se mettre en place en trois temps au minimum. La série de Queyrières pourra donc s'établir de la façon suivante :

a) DIRECTIONS D'AIMANTATIONS
SÉRIE MONT CHANIS QUEYRIERES

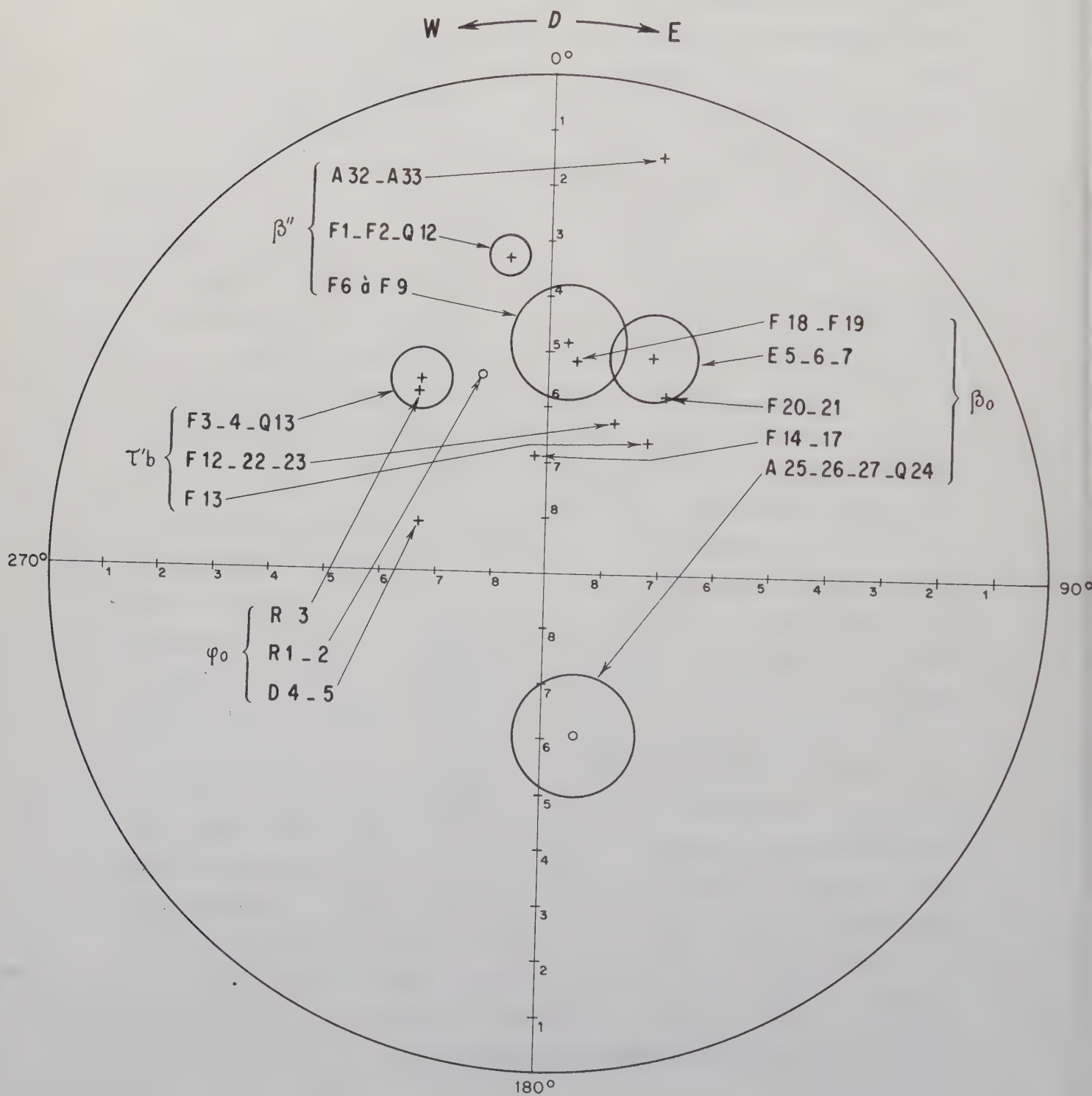


Fig. 106 a

SERIES DE RAFFY ET DE MONEDEYRES

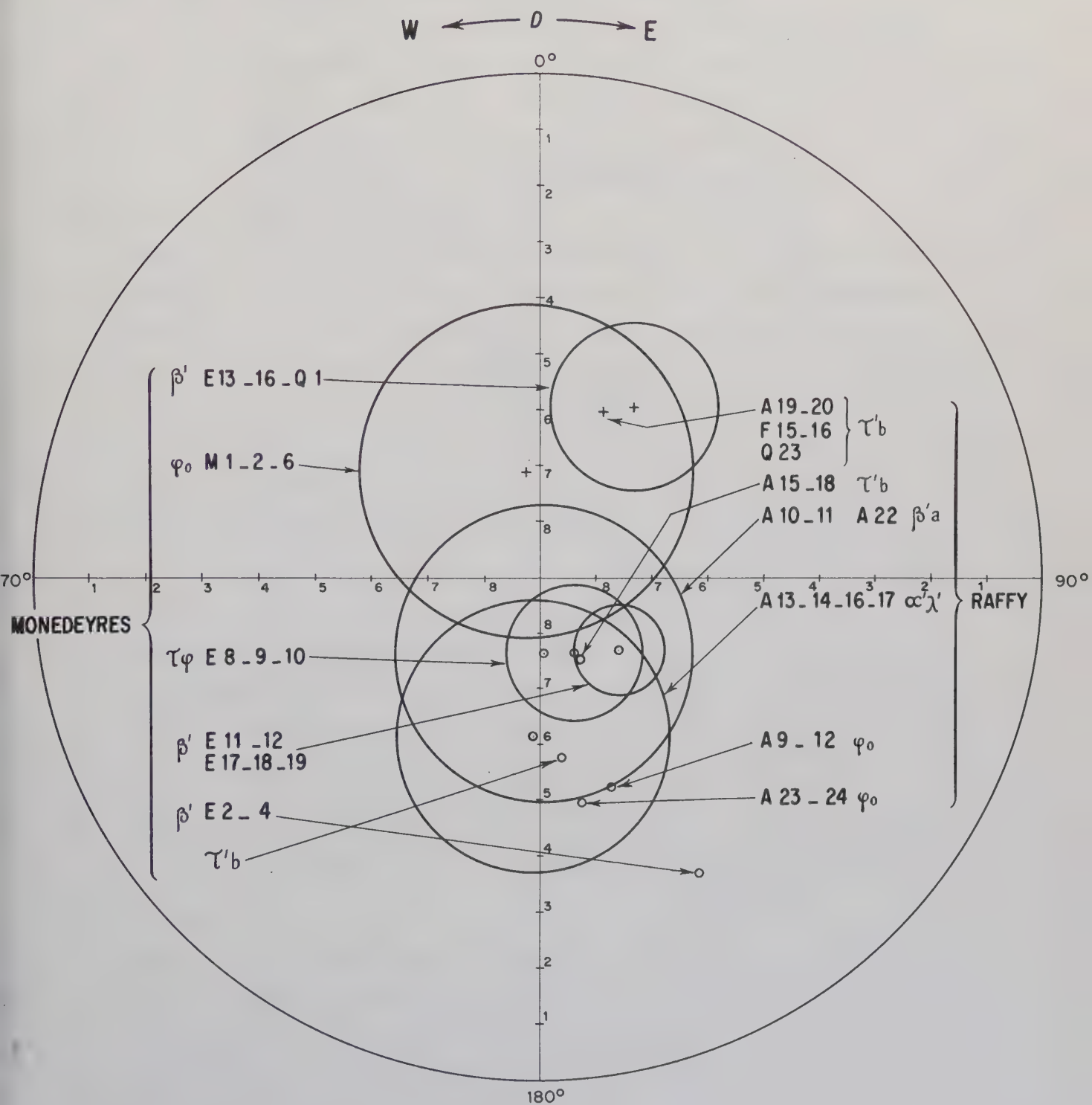


Fig. 106 b

1 - Niveau de base à aimantation normale qui englobe des basaltes (β'' et β') et des trachytes.

2 - Niveau à aimantation inverse avec trachy-phonolites, basaltes β'_b et andésilabradorites. (α, λ)

3 - Niveau à aimantation normale (basaltes β'_b)

4 - Niveau à aimantation inverse β'_a

5 - Niveau à aimantation normale φ .

6 - Niveau à aimantation inverse φ .

Notons toutefois que les basaltes β'_a reposent peut-être sur les phonolites à aimantation normale du Meygal. Dans ce cas, l'association basaltes compacts normaux et phonolites normales que nous avons rencontrée à Salce et au Lizieux formerait le niveau 4. Les basaltes β'_a étant alors intimement associés aux phonolites supérieures inverses pour former le niveau 5.

c) La vallée de l'Aubépin entre St-Front et Bournac (fig. 107)

Nous avons réalisé une étude de détail des affleurements que l'on rencontre, sur la rive droite de l'Aubépin, le long de la D 39 entre St-Front et le départ de la route qui va au hameau de Bournac à l'Ouest. BOULE a donné une coupe interprétative de cette zone (fig. 108). Pour cet auteur les andési-labradorites et les brèches andésitiques de Bournac sont recouvertes par les β' . Nous aurions des conditions assez semblables à celles que nous avons rencontrées aux Clauzelles.

Nous avons jugé utile de compléter le travail conduit par l'équipe de Paléomagnétisme de l'Observatoire du Parc St-Maur sur la série sédimentaire pontienne de la haute vallée de l'Aubépin (M. PREVOT et D. BIQUAND 1970) par une étude détaillée des formations volcaniques qui dominent la rive droite de la rivière.

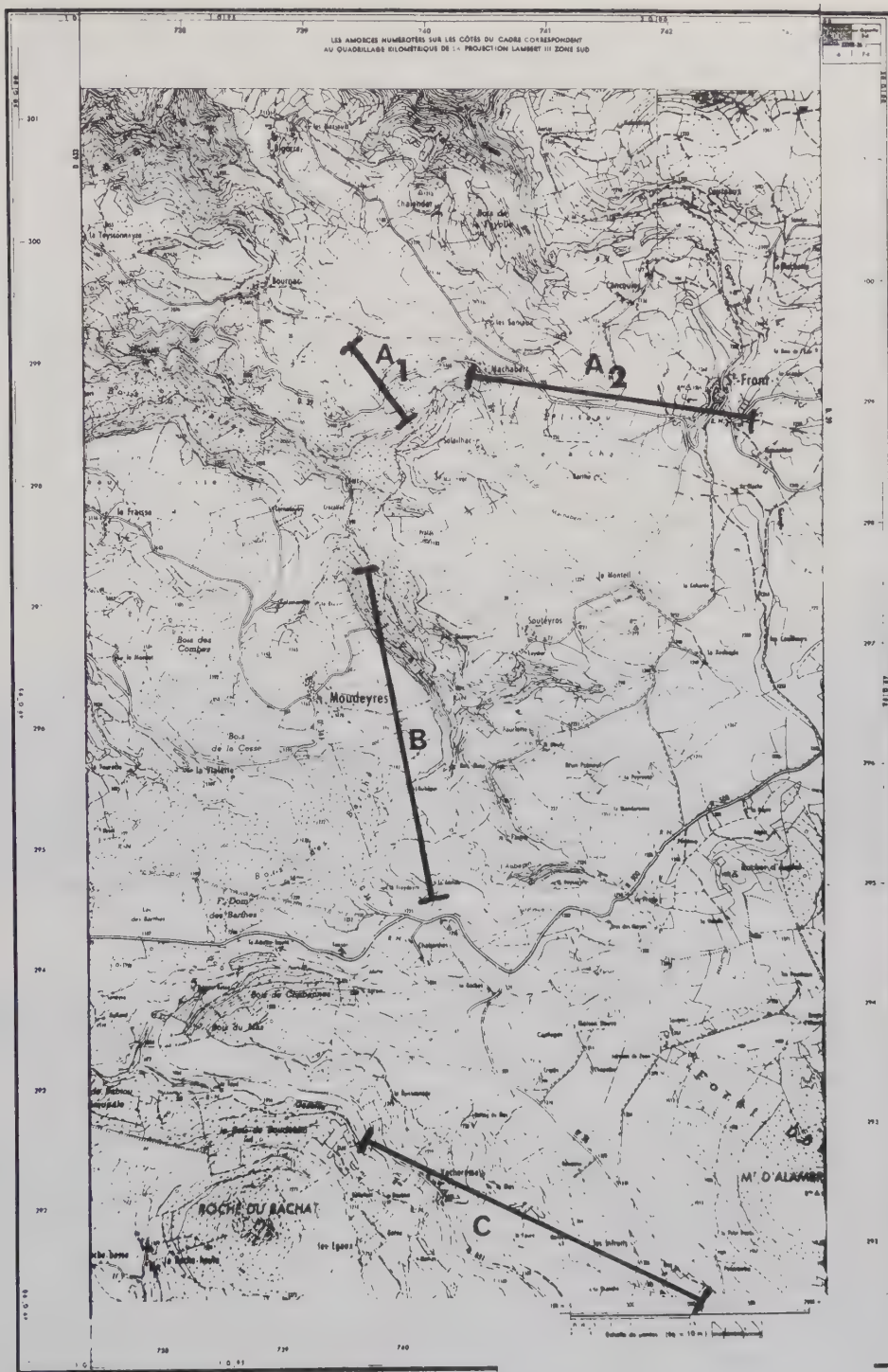
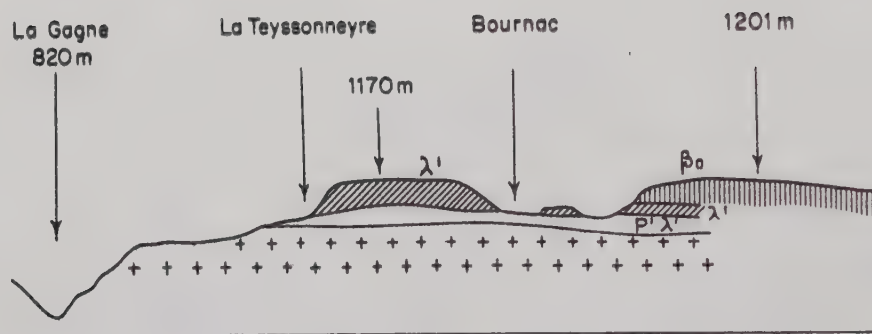


Fig. 107 - Carte topographique des Vallées de l'Aubépin et de la Gazeille.

- A) Coupes paléomagnétiques de Bournac à St. Froust.
- B) Coupe paléomagnétique de l'Aubépin (d'après M. PREVOT)
- C) Coupe paléomagnétique de la Vallée de la Gazeille.



COUPE DU PLATEAU DE BOURNAC
(d'après M. BOULE 1893)



Photo n° 11 - La Vallée de l'Aubépin vue depuis
le Plateau de Moudeyres.

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| A - Plateau de Moudeyres. | D - Aubépin. |
| B - " de Bournac. | E - Socle granitique. |
| C - Plateau des Saniaux. | F - Couverture basaltique. |

Nous pouvons espérer obtenir ainsi une bonne corrélation entre ces formations pontiennes et les formations volcaniques environnantes.

L'exposé de nos résultats sera présenté d'une manière différente de celle que nous avons adoptée jusqu'alors. En effet, il nous a paru utile de considérer d'abord l'ensemble des données stratigraphiques et magnétiques pour ensuite confronter les déductions que l'on en tire avec les données pétrographiques.

Le panorama (PHOTO 11) montre, vue de la route qui relie le village de Moudeyres au hameau de la Fraysse, la disposition générale de l'ensemble étudié.

α) Statigraphie et direction d'aimantations des coulées étudiées.

- La bordure sud-occidentale du plateau des Sanniaux.

L'automobiliste qui, venant des Planchats, gagne par la D 39 le plateau de St-Front monte sur la rive droite de l'Aubépin. La route serpente d'abord sur le flanc raide de la vallée entaillée dans le socle granitique. Puis, dans un virage assez serré, il voit apparaître, dans une carrière ouverte à 1053 m, peu avant le départ de la route qui dessert le hameau de Bournac, un dyke de basalte qui a réchauffé le granite à son contact. Les prélèvements effectués dans ce dyke donnent les résultats suivants :

Echantillon	I	D	α 95
65 AC 1	+ 59°	10° W	4°
65 AC 2	+ 60°	6° W	
65 AC 3	+ 62°	15° W	
Résultante	+ 60°30	10° W	

Reprenant la route, le voyageur circule encore un peu sur le granite puis, à l'embranchement de la route de Bournac, il voit affleurer une épaisse coulée de basalte à grands phénocristaux de pyroxène (ils atteignent 2 cm) qui pend vers le Sud-Est.

Vers le Nord, le long de la route de Bournac, cette coulée constitue la barre inférieure d'une série de trois ressauts qui bordent le plateau de Sanniaux à l'Ouest.

Vers l'Ouest, au contraire, le long de la D 39 cette coulée vient buter contre le granite qui forme le soubassement de la série que nous étudierons tout à l'heure.

La coulée de l'embranchement de Bournac correspond probablement à une coulée qui a comblé une ancienne dépression.

Les mesures magnétiques effectuées sur les coulées qui forment la falaise occidentale du plateau des Sanniaux donnent les résultats suivants :

		I	D	α 95
1ère coulée 1100-1110 m à phénocristaux de pyroxène	65 AB A	- 40°	170° W	15°
	65 AB 5	- 43°	165° E	
	65 AB 6	- 40°	179° W	
	Résultante	- 42°	179° E	
2ème coulée 1130-1150 m	65 AB 7	+ 35°	62° W	30°
	65 AB 8	+ 69°	50° W	
	65 AB 9	+ 66°30	44° W	
	Résultante	+ 57°30	55° W	
3ème coulée 1150-1170 m	65 AB 10	- 38°	165° W	37°30
	65 AB 11	- 29°	110° W	
	65 AB 12	- 35°	152° W	
	Résultante	- 36°30	142°30 W	



Photo n° 12 - Le flanc Sud Ouest du Plateau des Saniaux -

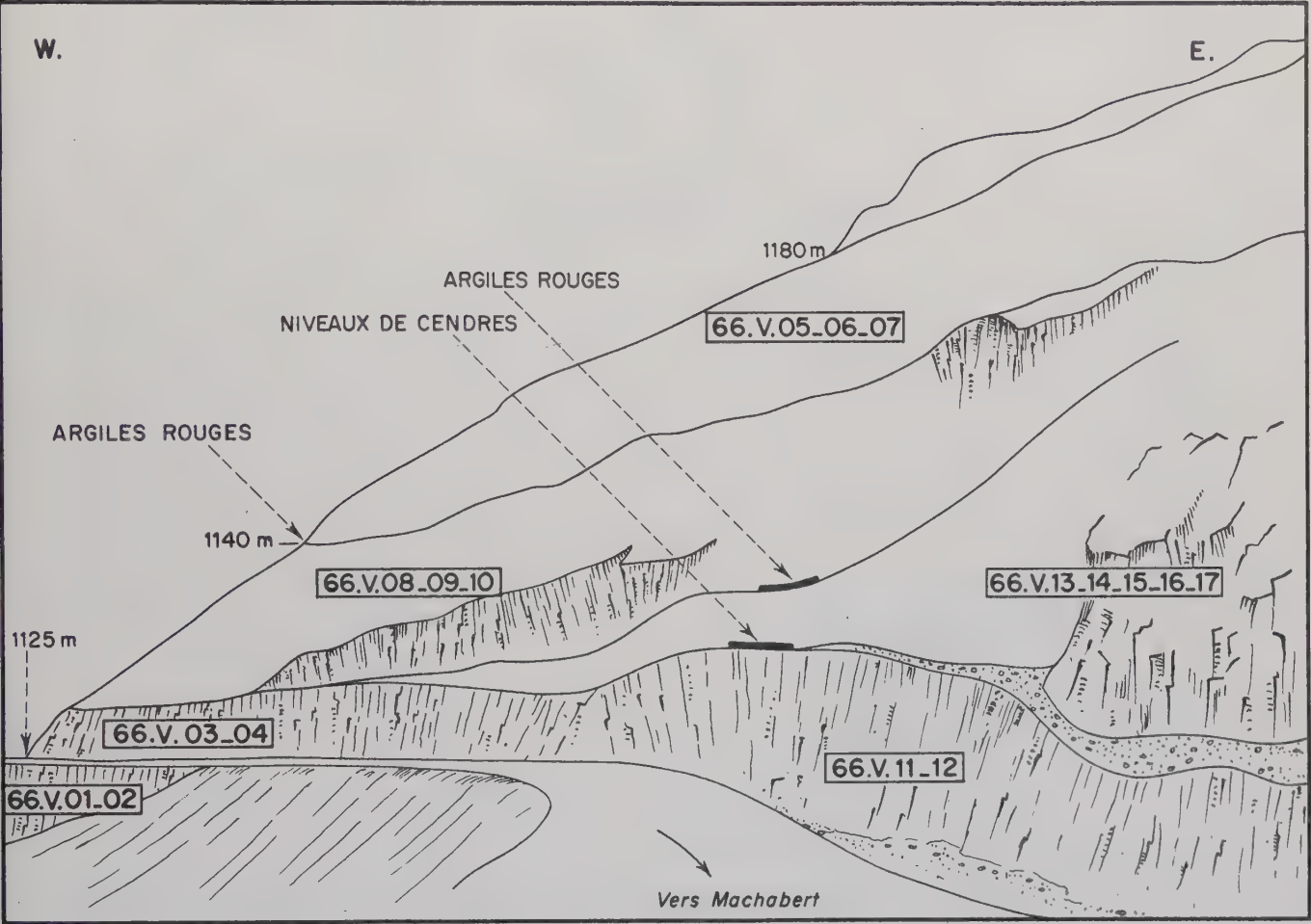


Fig. 109

Si, quittant la face Ouest de la falaise, nous remontons le long de la D 39 nous parcourons quelques mètres sur le granite puis nous voyons affleurer, peu avant la cote 1109 m, reposant sur ce granite, un mètre d'arkoses dans lesquelles s'intercale un niveau de galets de quartz. A 1110 m ce lambeau sédimentaire est surmonté par une coulée de basalte très altéré. Ce dernier, scoriacé à la base, passe à des niveaux lie de vin qui viennent se perdre sous les éboulis que l'on rencontre au niveau de la cote 1109 m.

A ce niveau, la route tourne brusquement et prend une direction Nord-Est, dégageant une falaise vive qui correspond à la photo (12) et au panorama (fig. 109). Sur une coulée de base qui affleure tout au long de la route reposent des coulées de taille variable. On note en particulier, dans la partie la plus orientale du système, un ensemble biseauté constitué de coulées lenticulaires reposant, tantôt sur des niveaux d'argile ocre ou rouge, tantôt sur des lits d'aspect ligniteux. Mais si ces lits présentent bien à l'affleurement l'apparence d'une poudre noirâtre, les analyses minéralogiques et polliniques montrent qu'il s'agit probablement de cendres volcaniques.

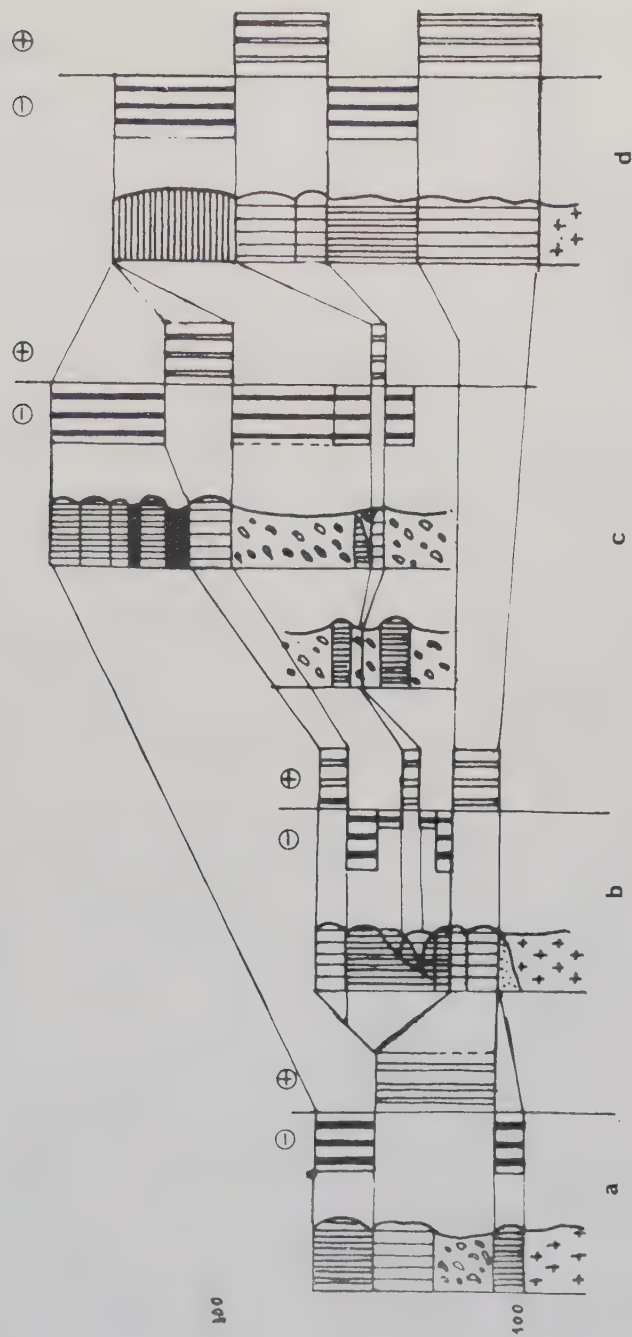
L'ensemble intermédiaire, biseauté, résulte donc d'une accumulation de coulées de taille réduite traduisant un ralentissement de l'activité effusive.

Il est recouvert par une épaisse coulée qui, comblant les dépressions, forme une falaise.

La série comporte ensuite, séparée de la coulée précédente par un niveau d'argiles rouges, une série de coulées à phénocristaux de pyroxène. Enfin le plateau est frangé par une seconde barre rocheuse correspondant à la nappe de basaltes semi-porphyroïdes qui, depuis Machabert, couronne le plateau des Sanniaux.

Sur la figure (109) nous avons représenté les emplacements des divers prélèvements qui ont permis de faire des mesures

- a) Flanc Ouest du Plateau des Sanniaux
 b) Flanc Sud Ouest "
 c) De Machabert à Saint'Front
 d) Rive gauche de l'Aubépin
 (d'après M. PREVOT - 1970)



Séries de l'Aubépin

de direction d'aimantation. Les résultats sont les suivants :

		I	D	α 95
1ère coulée affleurant au niveau de la route 1110-1120 m	65 AC 4	+ 37°	12° E	41°
	65 AC 5	+ 40°	8° W	
	65 AC 6	+ 29°	50° W	
	Résultante	+ 38°30	16° W	
2ème coulée 1120-1125 m	65 V 1	+ 51°	111° W	
	65 V 2	+ 61°	80° W	
	Résultante	+ 57°	97°30 W	
Falaise bor- dant la route 1125-1130 m	65 V 3	- 60°	140° E	33°
	65 V 4	- 57°	140° E	
	66 V 12	- 59°	160° W	
	66 V 11	- 65°	174°30 W	
	Résultante	- 51°	170° E	
Niveaux lenti- culaires af- fleurant entre 1130-1150 m	66 V 13	- 2°	153° W	28°30
	66 V 14	+ 40°	114° W	
	66 V 15	- 33°	148°30 W	
	66 V 16	+ 8°30	123° W	
	66 V 17	+ 3°30	135° W	
	Résultante	+ 3°30	135° W	
4ème niveau 1130-1160 m	66 V 8	- 37°30	132° W	22°
	66 V 9	- 30°	111°30 W	
	66 V 10	- 50°	136° W	
	Résultante	- 39°30	125°30 W	

6ème niveau 1160-1170 m	66 V 7	+ 31°30	86° W	
	66 V 6	+ 8°	80° W	
	66 V 5	+ 23°	107° W	
	Résultante	+ 21°30	91° W	
				28°

La lecture de ce tableau nous permet de faire deux remarques :

- 1ère remarque : les coulées lenticulaires sont caractérisées par des directions d'aimantation très anormales. Toutes les roches présentent au départ des inclinaisons fortes mais dans la plupart des cas la composante verticale de l'aimantation décroît très rapidement après des désaimantations à 200, 300 et 400 Oersteds, tandis que la composante horizontale conserve une valeur mesurable (fig. 110bis). Plusieurs hypothèses permettent d'expliquer ce fait :

. 1ère hypothèse : la composante principale de l'aimantation rémanente est une ARV. Dans ce cas, on comprend très mal pourquoi la déclinaison Ouest demeure sans changement laissant présager une aimantation inverse. On peut supposer aussi que comme l'a montré F. RIMBERT (1958) l'ATR originelle acquise en champ faible est une ATR dure mais de faible intensité. Les ARV, ARI, ATR partielles parasites prennent une importance relative plus grande.

. 2ème hypothèse : la faiblesse de l'ATR fait que les roches sont particulièrement sensibles aux aimantations rémanentes anhystérétique et une ARA horizontale apparaît au cours de la désaimantation. Cette interprétation nous paraît devoir être rejetée car la direction de l'aimantation résistante est indépendante du trièdre de mesure.

. 3ème hypothèse : Du fait de leur faible épaisseur les coulées sont entièrement réchauffées par les nappes postérieures. Cette hypothèse se heurte au fait que M. PREVOT a trouvé dans la série de La Gazeille des coulées isolées qui présentent le même caractère.

. 4ème hypothèse : la mise en place des laves a eu lieu dans une période de transition du champ géomagnétique ou celui-ci est caractérisé par une intensité faible. Les anoma-

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS 6 V 13 à 17

$M_0: 4 \times 10^{-4}$

u.e.m.c.g.s

13:168

14:686

15:313

16:949

17:653

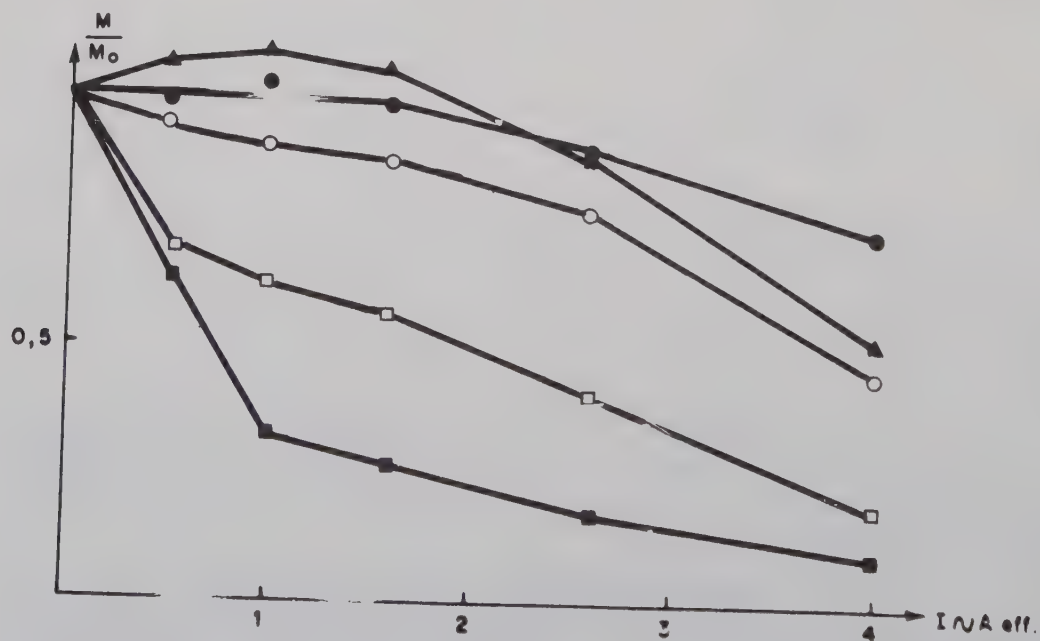
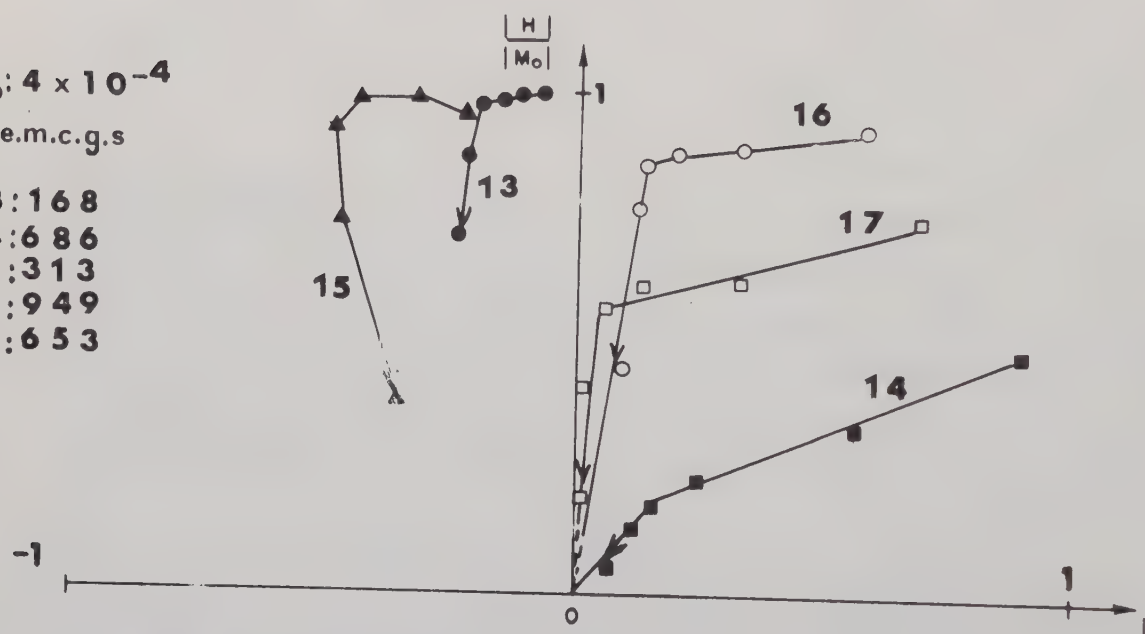


Fig: 110 bis

lies locales dues à la présence de coulées sous-jacentes et la composante non dipolaire du champ deviennent alors prépondérantes. Cette hypothèse prend un certain poids, si l'on tient compte du fait que nous avons retrouvé un phénomène semblable dans un niveau de 3° à Salreupt et que ceci se reproduit dans la vallée de la Gazeille comme nous le verrons tout à l'heure.

- 2ème remarque : La coulée de basalte à phénocristaux de l'embranchement de la route de Bournac pose un problème. On peut la considérer soit comme une coulée basale sans équivalent dans la coupe suivante, soit comme le prolongement de l'une des coulées inverses de la coupe suivante comme la coulée 66 V - 63,04, 11, 12. Les directions d'aimantation ne permettent pas de trancher. Par contre la coulée terminale de la falaise occidentale est en continuité avec la coulée qui surmonte les échantillons 66 V-5-7.

Conclusion : Les données magnétiques montrent que sur le flanc Sud-Ouest du Plateau des Sanniaux on trouve successivement :

- un niveau à aimantation normale.
- un niveau à aimantation inverse.
- un niveau à faible inclinaison dans lequel s'intercale un niveau normal.
- un niveau à aimantation inverse.
- un niveau à aimantation normale.
- un niveau à aimantation inverse.

- La série de Machabert.

. Partie inférieure.

Après avoir longé le flanc que nous venons d'étudier la route oblique vers le Nord. Son talus montre une série de coulées séparées par des niveaux d'argile rouge dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. Nous avons effectué une série de prélèvements dans les niveaux inférieurs qui nous ont donné les résultats suivants :

		I	D	d 95
Coulée inférieure affleurant à 1140 m	66 V 27	- 29°	179°30 E	
	66 V 28	- 47°	175° W	
	66 V 29	- 24°30	142° W	
	Résultante	- 35°	175° W	33°
Coulée lenticulaire affleurant à 1160 m au dessus de la coulée précédente	66 V 33	- 27°	147° W	
	66 V 34	- 56°	159° W	
	Résultante	- 42°	150° W	-

En amont de nouveaux affleurements sont visibles. Ils sont constitués par une alternance de coulées et d'argiles rouges. Deux formations situées à 1150-1160 m donnent les résultats suivants :

		I	D	d 95
1152 m	66 V 24	- 3°	147° W	
	66 V 25	+ 72°	18°30 E	
	66 V 26	+ 82°	87°30 E	
	Résultante	+ 71°	150° W	<u> </u> (1)
1155 m	66 V 21	- 28°	26° W	
	66 V 22	- 3°	147° W	
	66 V 23	- 3°	162°30	
	Résultante	- 20°	129° W	<u> </u> (1)

(1) Mis à part les affleurements à faible inclinaison, les directions obtenues sont très divergentes et peuvent difficilement être considérées comme significatives.

Au niveau du hameau de Machabert, nous avons prélevé la série suivante :

		I	D	d 95
	66 V 18	+ 62°30	122° W	
	66 V 19	+ 43°30	94°30 W	
	66 V 20	+ 28°	121° W	
	Résultante	+ 45°30	112° W	31°30

. Partie supérieure.

Entre Machabert et St-Front le talus de la route montre une suite coulées-argiles rouges dont les directions d'aimantation sont les suivantes :

		I	D	d 95
Coulée affleurant à 1225 m	65 AC 16	- 52°	172° E	
	65 AC 17	- 52°	120° W	
	65 AC 18	- 60°	160° W	
	Résultante	- 58°	156° W	31°
Coulée affleurant à 1235 m	65 AC 15	- 60°	154° W	
	65 AC 14	- 61°	144° W	
	65 AC 13	- 49°30	161° W	
	Résultante	- 57°	154° W	12°
Coulée affleurant à 1240 m et couronnant le plateau	65 AC 12	- 43°30	156° W	
	65 AC 11	- 31°	146° W	
	65 AC 10	- 47°	158°30 W	
	Résultante	- 40°30	153° W	15°

		I	D	d 95
Coulée du Châteaud'eau 1260 m	65 AC 9	- 51°	153° W	11°
	65 AC 8	- 46°	143° W	
	65 AC 7	- 39°	151° W	
	Résultante	- 45°30	149° W	

. Les coulées de St-Front.

Pour compléter notre série de prélèvements nous avons pris des échantillons au niveau de la carrière ouverte au Sud du Cimetière de St-Front à 1215 m d'altitude. M. PREVOT avait étudié cet affleurement, mais nous avons préféré renouveler l'étude pour comparer nos résultats. La roche qui présente des phénocristaux de pyroxène est désignée sous le nom d'andésite augitique par BOULE. Elle donne les résultats suivants :

		I	D	d 95
C. BOBIER	65 AB 1	- 64°30	134°30 W	
	65 AB 2	- 67°	92° W	
	65 AB 3	- 67°	158° W	
M. PREVOT	F 3	- 62°	146°30 W	
	F 4	- 59°	102° W	
	F 5	- 65°30	165° W	
	Résultante	- 66°30	132°30 W	11°

Ces résultats sont comparables à ceux que nous avons obtenus au niveau de Machabert. Rappelons que dans la carrière de St-Front, M. PREVOT avait trouvé les directions suivantes :

		I	D	d 95
Carrière de St-Front	F 11	- 48°	148°30 W	
	F 10	- 63°	157° W	
	F 9	- 54°	149° W	
	Résultante	- 55°	151° W	12°

Au niveau de Machabert, sur une nappe basaltique à aimantation inverse, nous retrouvons des niveaux où l'aimantation est très variable. Ils correspondent aux niveaux lenticulaires que nous avons trouvés dans la coupe précédente. Ils sont recouverts par une coulée à aimantation normale très développée en surface au niveau de Machabert. Cet ensemble est couronné par une série de coulées à aimantation inverse qui occupent tous les sommets vers le village de St-Front.

- Conclusion générale : Nous avons reporté sur la figure 111 les directions moyennes des aimantations.

Si l'on met à part la coulée de la route de Bournac, l'analyse magnétique suggère les équivalences suivantes :

- le niveau (65 AB 7 à 9 situé à 1130 m à l'Ouest des Sanniaux correspondrait aux niveaux (65 AC 4 à 6) et 66 V 1-2 compris entre 1110 et 1130 m au Sud-Ouest du Plateau.

- la coulée où ont été prélevés les échantillons 65 V 3-4 11-12 peut se raccorder à la coulée correspondant aux échantillons 65 V 27-29.

- Au-dessus on trouve vers la route de Bournac et au-dessous de Machabert des coulées réduites s'intercalant dans des niveaux d'argiles rouge et ocre ou des passées de cendres volcaniques. Le plus souvent la déclinaison de l'aimantation est orientée vers l'Ouest tandis que l'inclinaison est voisine de zéro. Mais on rencontre aussi des directions très anormales. Ces niveaux

a) - DIRECTIONS D'AIMANTATIONS

FLANC SUD ET SUD OUEST DU PLATEAU DES SANNIAUX

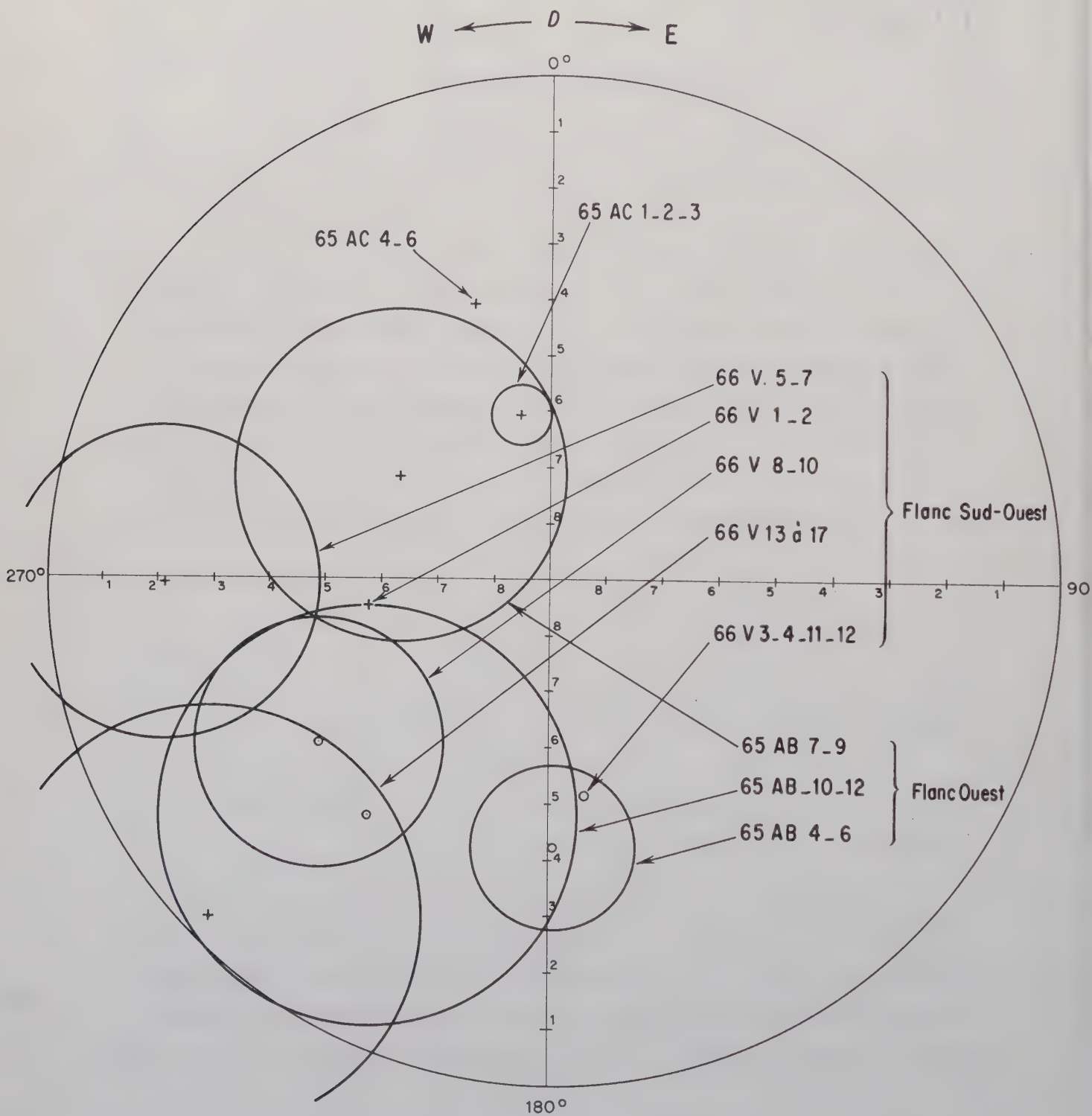


Fig. 111 a

b) - DIRECTIONS D'AIMANTATIONS DES LAVES
ENTRE MACHABERT ET ST. FRONT

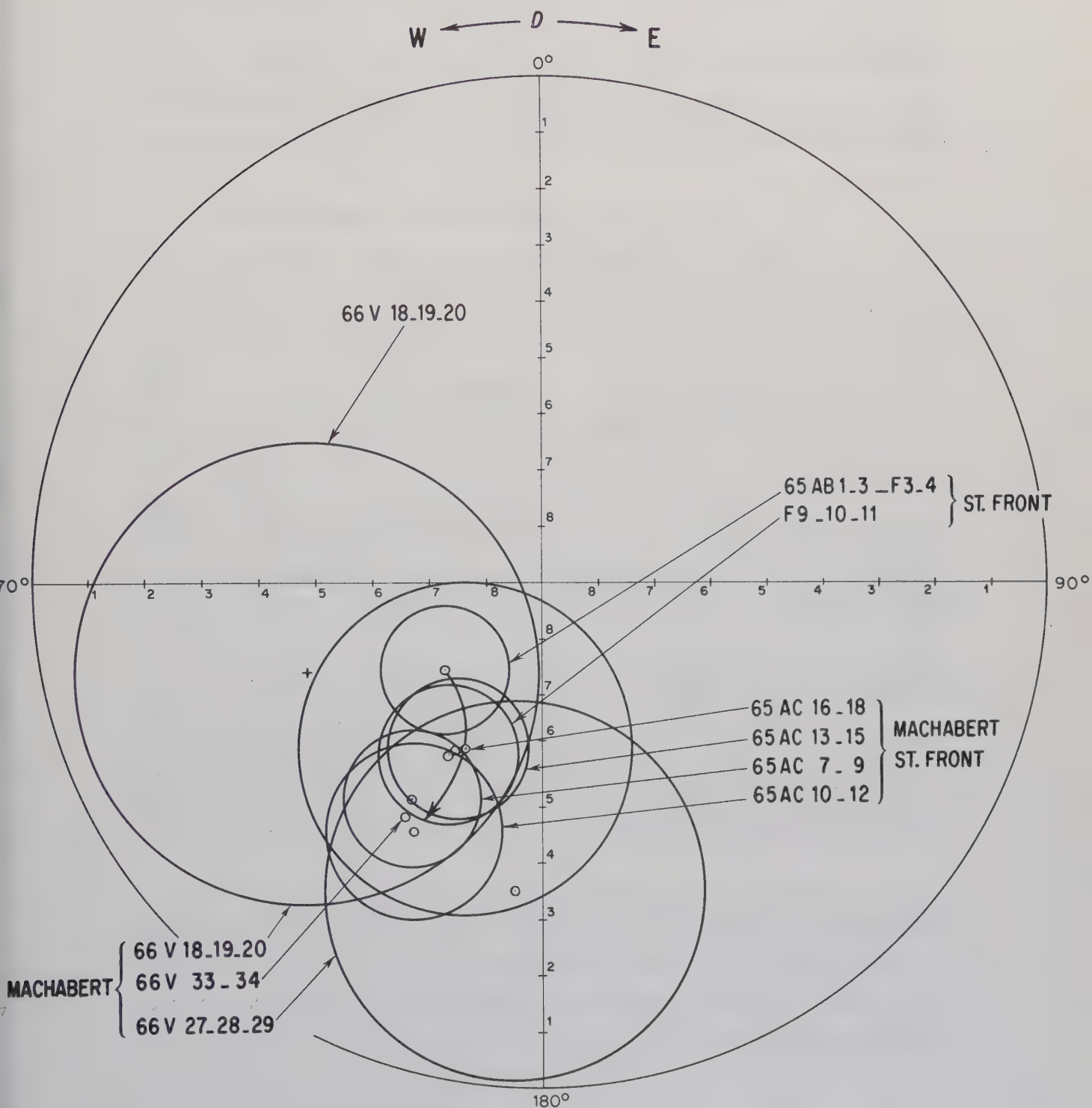


Fig. 111b

lenticulaires précèdent une coulée très développée culminant à 1160 m qui s'étend de Machabert jusqu'au niveau de Bournac en rem-
plissant l'ancienne dépression. Ce niveau à aimantation inverse
correspondrait aux échantillons (66 V 8,10), 66 V 33, 34). Les
coulées supérieures 66 V 5-7 et 66 V 18,19,20 seraient équivalen-
tes et représenteraient une coulée de basalte à aimantation nor-
male couronnée par une épaisse série de β^0 inverse (65 AB-10-12
et 65 AC 9-18).

(β) Les données pétrographiques.

L'étude pétrographique conduite sur un certain nombre
de lames minces taillées dans les échantillons que nous avons
étudiés du point de vue paléomagnétique donne les résultats sui-
vants :

- Comparaison des coulées 66 V (3,4,11,12) et 66 V
(27 à 29) 1125-1145 m à aimantation inverse.

. 1ère coulée :

L'échantillon 66 V 3 correspond au centre d'une coulée.
Il montre un basalte compact. Les phénocristaux visibles à l'oeil
nu sont rares. En lame mince, sur un fond à structure fluidale
souligné par une légère pigmentation rouge d'Oxydes de Fer, se dé-
tachent quelques phénocristaux de petite taille constitués d'oli-
vine altérée en serpentine et un grand nombre de vacuole de cal-
cite plus volumineuse. La pâte microlitique est formée essentiel-
lement de plagioclases et d'olivine altérée en Iddingsite. Les
minéraux opaques se présentent sous forme de petites plaquettes.

L'échantillon 66 V 11 correspond au sommet de la cou-
lée précédente. A l'oeil nu on distingue quelques phénocristaux.
En lame mince, aux phénocristaux d'augite zonée qui prédominent
sont associés quelques cristaux d'olivine altérée et des vacuoles
de calcite. Les microlites de plagioclases, plus nombreux que
ceux d'augite sont séparées par un peu de verre.

La coulée se présente donc avec des faciès légèrement
différents suivant le point de prélèvement. La partie supérieure
est plus riche en cristaux de pyroxène que le coeur. Il s'agit
d'un basalte compact présentant localement une certaine tendance
à devenir porphyroïde.

. 2ème coulée :

L'échantillon 66 V 27 présente un faciès comparable marqué par la présence d'augite zonée dans les phénocristaux dont certains sont visibles à l'oeil nu.

Les deux coulées paraissent bien équivalentes comme le laissent supposer les mesures magnétiques.

- Caractères pétrographiques des roches dont la direction d'aimantation est anormale.

L'échantillon 66 V 14 se présente sous l'aspect suivant : Macroscopiquement, quelques phénocristaux sont visibles à l'oeil nu et atteignent 2 mm. En lame mince, ces phénocristaux se révèlent être surtout constitués par de l'augite formant parfois des agrégats associés à quelques cristaux d'olivine. Les microlites de plagioclase prédominent. Ils sont accompagnés de microlites d'augite.

Dans la lame 66 VD 22, les phénocristaux d'olivine et d'augite prédominent, mais on remarque la présence de phénocristaux de plagioclases, dont la nature traduirait une certaine tendance trachytique de la roche. Les vacuoles de calcite, nombreuses, sont connectées par des veinules de calcite dont la pigmentation par les oxydes de Fer est importante.

L'échantillon 66 V 23, dont l'aimantation inverse est caractérisée par une inclinaison faible, montre, mêlés à des phénocristaux d'augite atteignant 0,5 mm, des enclaves d'une lave crypto-cristalline entourées d'une auréole de calcite et des microlites de biotite.

Dans l'échantillon 66 V 24, qui appartient à une coulée postérieure à celle étudiée ci-dessus et dont la direction d'aimantation est caractérisée par une inclinaison faible, on ne voit pas de phénocristaux. En lame mince ceux-ci, de petite taille, sont effectivement très rares. Ils se présentent sous forme d'olivine, d'augite et de biotite transformée en un agrégat de cristaux de pénéine et de calcite. Quelques vacuoles de calcite parsèment la lame.

Les niveaux à inclinaison faible et à forte déclinaison Ouest contiennent des roches de nature variée plus ou moins enrichies en calcite. Ils forment cependant un ensemble cohérent. Nous avons évoqué les hypothèses qui peuvent servir à interpréter la nature de cette aimantation. L'étude pétrographique permet-elle

d'apporter des arguments à l'une d'entre elles.

La présence de vacuoles de calcite avec pigments d'oxyde de Fer pourrait apporter un argument en faveur d'une aimantation visqueuse. Si la pigmentation est due à une altération secondaire, celle-ci peut être responsable de l'apparition d'aimantation visqueuse. Mais cela n'explique pas l'existence d'une déclinaison Ouest très forte qui caractérise la majeure partie des échantillons.

De plus, les vacuoles de calcite peuvent être dues non pas à l'altération mais à des dépôts fumeroliens particuliers dus à la nature du magma émis.

Il est curieux de trouver des aimantations visqueuses sur toutes les roches d'un niveau formé de multiples coulées.

Par ailleurs, dans tous les cas, les aimantations rémanentes sont faibles (dix fois plus petites que celles rencontrées dans d'autres échantillons de même type pétrographique).

La faiblesse de l'intensité d'aimantation peut donc être considérée comme un trait caractéristique des roches de ce niveau, dû essentiellement à la faiblesse de la composante verticale de l'aimantation. Ce trait nous amène à envisager une mise en place à une époque de champ à composante verticale faible. Cette opinion semble confirmée par l'existence, dans les niveaux supérieurs où l'aimantation est franchement inverse, de roches de même type pétrographique et présentant les mêmes formes d'altération que les précédentes.

- Les coulées supérieures à aimantation inverse qui recouvrent le niveau antérieur.

L'échantillon 66 V 8 montre à l'oeil nu quelques rares cristaux. En lame mince, les phénocristaux se révèlent de petite taille et sont constitués essentiellement par des pyroxènes (augite zonée) et de l'olivine très altérée. Là encore, il faut noter la présence de nombreuses vacuoles de calcite. Les microclites sont essentiellement constitués par des plagioclases et des pyroxènes.

L'échantillon 66 V 9, ne présente pratiquement pas de phénocristaux et les microlites sont eux-mêmes de très petite taille mais les vacuoles de calcite sont abondantes. Les phénocristaux sont constitués d'augite zonée et d'olivine formant de petits agrégats.

Sur l'échantillon 66 V 34, quelques phénocristaux sont visibles à l'œil nu. Ils atteignent des tailles de 2 à 5 mm et sont constitués par de l'augite et de l'olivine. Les vacuoles de calcite sont assez nombreuses et contiennent des dépôts ferrugineux. Dans les microlites, les plagioclases sont beaucoup plus abondants que les ferromagnésiens.

Nous avons donc bien des roches du type basalte compact. Leur faciès est voisin de celui rencontré dans les niveaux à inclinaison faible.

- Niveau supérieur à aimantation normale.

- Echantillon 66 V 6 : (près de la route de Bournac). Les phénocristaux, visibles à l'œil nu, sont abondants. Ils atteignent des tailles de l'ordre de 0,5 à 1 cm. En lame mince, on remarque des phénocristaux de biotite, d'augite et d'olivine souvent corrodée, parfois transformée en hornblende.

- Echantillon 66 V 19 : (hameau de Machabert). Les phénocristaux visibles à l'œil nu sont plus petits. Ils sont formés d'olivine très altérée et de biotite.

Dans les séries de Machabert et de Bournac nous trouvons des roches qui présentent le même type pétrographique et des aimantations de même direction et de même sens. La coulée qui appartient aux basaltes semi-porphyroïdes est donc bien continue sur tout le plateau des Sanniaux.

- Les coulées terminales à aimantation inverse appartiennent toutes à la catégorie des basaltes semi-porphyroïdes.

γ) Conclusions.

Sur la rive droite de l'Aubépin la série volcanique, qui débute peut-être par des basaltes à phénocristaux à aimantation inverse, comporte ensuite des basaltes compacts (parfois porphyroïdes) et semi-porphyroïdes. L'ensemble recouvre plusieurs périodes de champ géomagnétique. On trouve successivement (fig. 110).*

* légende page 162.

- 1) Basaltes β' à aimantation normale.
- 2) Basaltes β' à aimantation inverse.
- 3) Basaltes β' à direction anormale.
- 4) Basaltes β' à aimantation inverse.
- 5) Basaltes β° à aimantation normale.
- 6) Basalte β° à aimantation inverse.

Rappelons que sur la rive gauche, M. PREVOT (1965) a montré l'existence de trois niveaux successivement normal, inverse, normal.

Les basaltes semi-porphyroïdes ne sont pas homogènes comme le montraient déjà les séries de Bellecombe et de Chazeaux. Cette série permet d'expliquer la différence qui était apparue entre les conclusions de M. MACLE (1967) qui trouvait que les basaltes β° étaient en majeure partie normaux et M. PREVOT (1963) pour qui l'ensemble des basaltes β° était à aimantation inverse. Les basaltes terminaux à aimantation inverse du plateau des Sanniaux se prolongent jusqu'au niveau de Champclause (basalte des Teyres) mais font défaut dans la partie Nord du Massif. Il y aurait donc un déplacement dans l'espace des points d'émission des basaltes semi-porphyroïdes.

Nous avons évoqué les problèmes que pose la détermination de la nature des aimantations portées par les coulées lenticulaires formant le niveau 3, intercalé entre deux niveaux à aimantation inverse.

Au moment où nous tentons d'établir une synthèse locale il convient de comparer ces résultats à ceux obtenus, en amont de l'Aubépin, par l'équipe de St-Maur. D. BIQUAND et M. PREVOT ont récemment (1970b) montré que les directions d'aimantation des argiles en plaquettes qui surmontent, au voisinage de 1140 m, les formations à plantes fossiles de l'Aubépin (P. GRANGEON 1952) étaient caractérisées par une inclinaison variant entre $- 80^\circ$ et $+ 25^\circ$ et une déclinaison généralement orientée à l'Ouest. Ces

auteurs écrivent :

"... la dispersion des directions observées est trop forte pour être due à la seule variation séculaire. D'autres facteurs, en particulier une fossilisation incorrecte de la direction du champ ancien et, peut-être, une certaine imprécision des résultats magnétiques, sont sans doute à l'origine de cette dispersion"

Examinant ensuite la direction moyenne de l'aimantation rémanente des roches volcaniques du Mézenc et des argiles de l'Aubépin ils montrent que :

"... la direction moyenne de l'aimantation des argiles de l'Aubépin ... est significativement différente de celle des coulées volcaniques."

Pour interpréter l'écart de 20° qui existe entre les deux directions ils admettent que :

"... la direction moyenne de l'aimantation rémanente des argiles de l'Aubépin diffère de 20° environ de celle du champ géomagnétique qui régnait à l'époque du dépôt."

Après avoir évoqué l'interprétation classique de l'erreur due au dépôt des sédiments ils suggèrent une autre interprétation. S'appuyant sur certaines de leurs observations (BIQUAND D. et PREVOT M. 1970a) à propos de la résistance de certaines ARV à l'action des champs alternatifs, ils suggèrent qu'une partie de l'ARV qui affecte fortement les argiles de l'Aubépin a résisté à l'action du champ alternatif et perturbe la direction d'aimantation.

Cette argumentation est solide mais nous devons remarquer que nous retrouvons des phénomènes semblables dans les basaltes lenticulaires. Rappelons que, comme les argiles, les basaltes semblent porter une aimantation visqueuse relativement forte (la composante verticale s'estompe au cours de la désaimantation). La dispersion observée dans les basaltes est aussi très grande.

Les directions observées dans les niveaux lenticulaires sont très proches de certaines directions mesurées dans les

argiles. Enfin la direction moyenne de l'aimantation des argiles ($-38^{\circ}4$; $152^{\circ}4$ W) est voisine de celle observée dans certains basaltes non lenticulaires des Sanniaux :

- $36^{\circ}30$ $142^{\circ}30$ W pour la coulée 65 AB 10-12
- $39^{\circ}30$ $125^{\circ}30$ W pour la coulée 66 V 8-10
- $40^{\circ}30$ 153° W pour la coulée couronnant le plateau

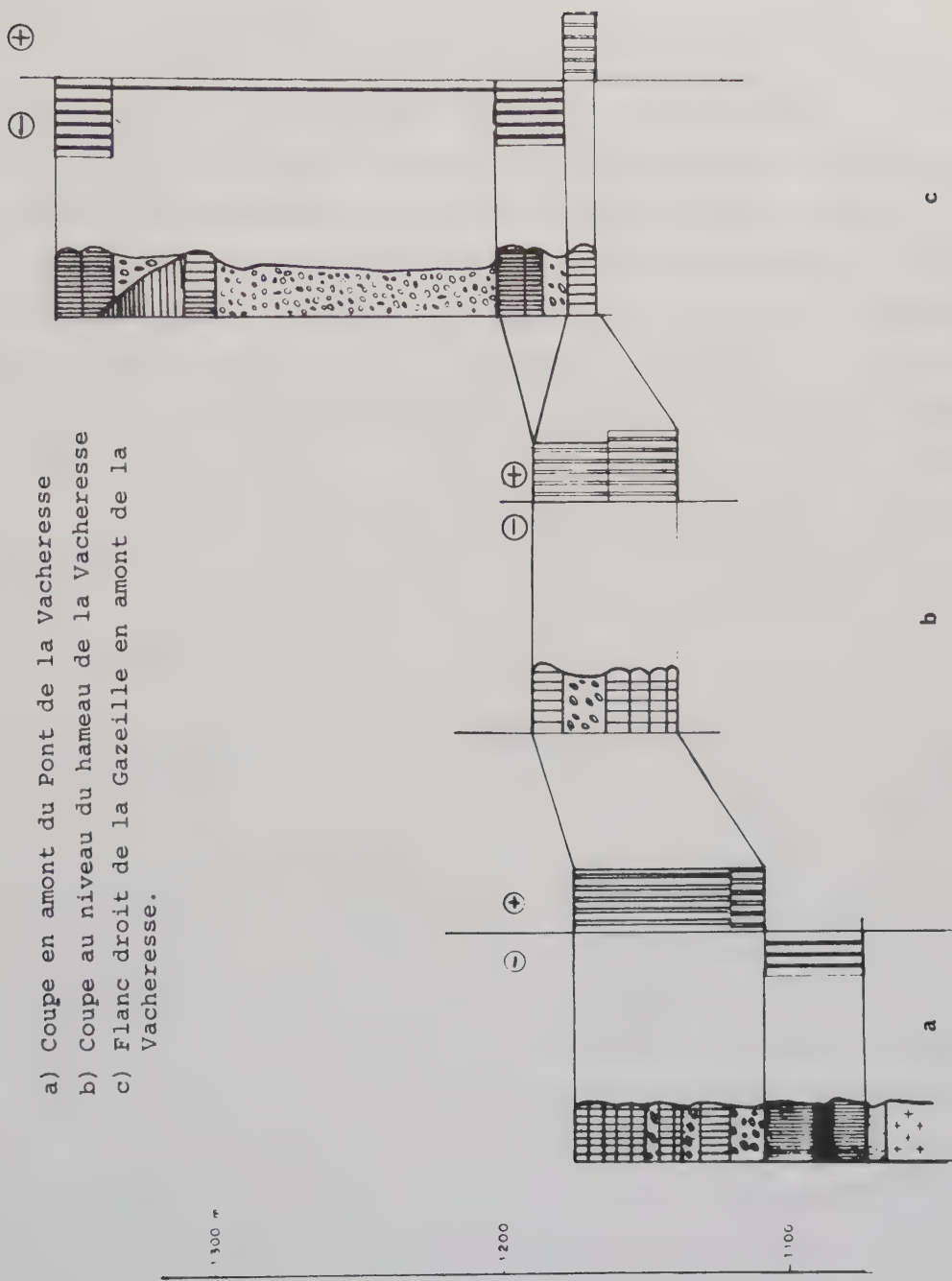
Si nous ajoutons à cela que les argiles de l'Aubépin et les coulées des Sanniaux distantes de 3 km s'étagent dans les deux cas entre 1130 m et 1200 m et que les coulées lenticulaires sont intercalées de lits d'argiles et de cendres nous sommes conduits à considérer que coulées et argiles appartiennent à un même niveau stratigraphique dont toutes les roches sont caractérisées par des directions "d'aimantations anormales".

Pour interpréter ces "directions anormales" il faut tenir compte de ces données.

En particulier l'action des ARI et des ARA semble devoir être exclue. Restent, à nos yeux, deux interprétations possibles.

a) L'anomalie de la direction résultante est due à la persistance d'ARV résistantes à l'action des champs alternatifs. Il faut expliquer l'existence de ce phénomène dans tous les types de roche. On peut supposer que l'importance de l'ARV est due à l'existence de minéraux magnétiques particuliers. Comme les minéraux magnétiques des argiles doivent provenir de l'altération des basaltes voisins on conçoit facilement que les mêmes minéraux se rencontrent dans les deux types de roche.

b) L'existence, aux Sanniaux, de coulées où les ATR présentent des directions d'aimantation voisines de celles des argiles peut amener à considérer que la direction moyenne du champ terrestre correspond bien à celle mesurée mais que cette période de champ inverse à faible inclinaison est coupée par une période où l'intensité du champ diminue. ATR et aimantation détritique sont faibles ce qui rend prédominant :



- a) Coupe en amont du Pont de la Vacheresse
- b) Coupe au niveau du hameau de la Vacheresse
- c) Flanc droit de la Gazelle en amont de la Vacheresse.

Série de la Vallée de la Gazelle

- d'une part l'action des ARV dont l'importance relative sera plus grande,
- d'autre part l'action des anomalies locales et des courants dans le cas des dépôts lacustres. Ces phénomènes pouvant expliquer les dispersions observées dans les directions.

La seconde hypothèse nous paraît la plus convaincante. Mais elle implique d'admettre que la direction du champ terrestre dans le Velay ne coïncide pas toujours avec celle du dipôle calculé sur l'ensemble des résultats. En d'autres termes elle implique d'admettre que l'histoire du champ géomagnétique au Miocène a parfois été marqué par des époques de variation considérable de la direction du dipôle géocentrique ou de son intensité.

d) Une coupe le long de la vallée de la Gazeille.

Nous rappellerons ici les résultats de M. PREVOT qui a fait une étude détaillée des affleurements et que nous avons résumés sur la fig. 112.*

La série débute à 960 m par une coulée à aimantation inverse reposant sur du granite par l'intermédiaire d'un niveau de scories. Elle est surmontée par un banc de lignites (attribués au Pontien) recouvert par une coulée à aimantation normale. La nappe de basaltes à aimantation inverse qui, entre 1100 et 1110 m lui succède, supporte une épaisse série à aimantation normale qui se prolonge jusqu'à 1170 m. Entre 1180 et 1200 m apparaît un niveau à aimantation inverse suivi par une épaisse série de tufs dans lesquels sont intercalées des coulées dont l'inclinaison est très faible. A partir de 1310 m apparaissent des trachytes supérieurs dont l'inclinaison est voisine de zéro. Une nappe de basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse couronne l'ensemble.

La succession est très proche de celle mise en évidence entre Bournac et St-Front. En particulier, il faut remarquer l'existence, dans les deux systèmes, d'un niveau où les roches

* légende page 162.

présentent une aimantation à faible inclinaison. Cette série épaisse dans la vallée de la Gazeille où elle atteint 1320 m ne dépasse pas 1150 m sous le Plateau des Sanniaux. Notons que les trachytes supérieurs absents dans la série de Bournac Machabert sont associés dans la série de la Gazeille à ce niveau anormal.

e) La structure du Massif de Bonnefoy. (Fig. 113)*

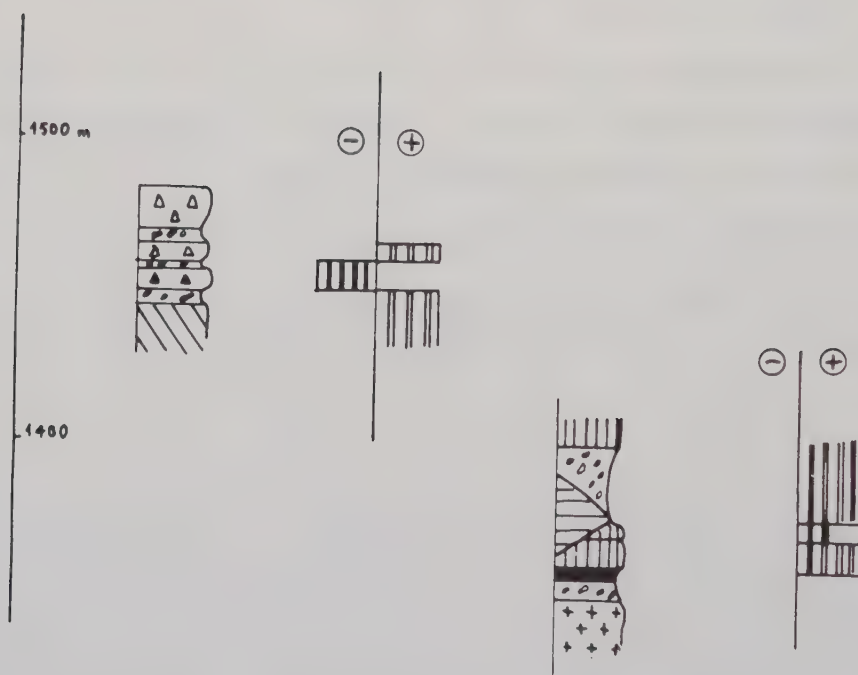
Nous résumerons les résultats du travail de M. PREVOT dans ce secteur. La série volcanique repose sur des lignites fossilifères qui n'ont, à notre connaissance, pas permis de définir un âge précis.

La première coulée qui apparaît à 1360 m est constituée par des basaltes cartés β dont l'aimantation est normale. La direction de cette aimantation est la suivante :

	I	D	α 95
Y_1	+ 51°	17° W	
Y_2	+ 54°	45° E	
Résultante	+ 56°30	13° E	-

Ces basaltes sont postérieurs aux gisements de lignites. Ces lignites sont probablement équivalents des niveaux que nous avons rencontrés dans l'Aubépin, aux Clauzelles et à Gourgouras d'âge Mio-Pliocène. La coulée correspond donc, non pas à un basalte Miocène β , mais à un basalte Pontien ou Pliocène donc β , en rapport avec les andési-labradorites. Une série de prélèvements effectués sur une coulée affleurant sous les trachytes inférieurs, au-dessus de la coulée précédente, donne les résultats suivants :

	I	D	α 95
Y_3	+ 26°	17° E	
Y_4	+ 12°	21° W	
Résultante	+ 20°	3° W	-



Massif de Bonnefoy

- a) Versant oriental
- b) Versant occidental

Les trachytes de Bonnefoy prélevés entre 1350 m et 1360 m donnent les résultats suivants :

	I	D	α 95
Y ₆	+ 73°	10° E	
Y ₇	+ 74°	51° E	
Y ₈	+ 89°	177° E	
Y ₉	+ 70°	32° E	
Y ₁₀	+ 76°	25° W	
Résultante	+ 78°	20° E	10°

On peut regretter que M. PREVOT n'ait pas jugé nécessaire de pousser les désaimantations au-delà de 100 Oersted . En effet, il semble que l'on ait des ARI importantes. Les rapports M/M_0 décroissent rapidement.

A partir de 1400 m affleurent des coulées β'_b . Les prélèvements effectués sur cette série sous la ferme du Bas-Pra-doux à l'Est du Massif de Bonnefoy donnent les résultats suivants :

	I	D	α 95
I	+ 46°	2°30 E	
II	+ 40°	9° W	
Résultante	+ 43°	3°30 W	

A partir de 1450 m affleurent des basaltes porphyroïdes. Leur aimantation est inverse et entre 1460 et 1465 elle est normale.

Si nous considérons que les lignites que l'on rencontre dans la région de Bonnefoy sont contemporains des lignites du Clauzelles et de l'Aubépin, les basaltes cartés β'' qui sont à ai-

mantation normale correspondraient, soit aux andésilabradorites supérieurs du Clauzelles (ce qui rendrait les trachytes qui les surmontent équivalents des trachytes supérieurs) soit aux basaltes compacts rencontrés à la base de la série de l'Aubépin et de la Gazeille. Dans tous les cas il ne s'agit plus de basaltes miocène mais de basaltes β' .

La série de Bonnefoy ne serait donc pas l'équivalent de la base de la série du Massif du Mézenc mais correspondrait plutôt au sommet, ou tout au moins à la partie médiane. Nous devons remarquer à ce sujet que les basaltes β'_a de Bonnefoy se situent à des altitudes comparables à celles des roches de même type que l'on rencontre au sommet de la série de Chaulet voisine où leur aimantation est normale. Le β'_a de Chaulet serait l'équivalent des β'_a supérieurs de la série de Bonnefoy.

III) LA SYNTHÈSE DES RESULTATS.

La résultante générale des directions d'aimantation donne la direction suivante :

I = 61°30 D = 1° E $\alpha_{95} = 11^\circ$
Coordonnées du Pôle 87°30 N 169°30 E.

Nous avons vu qu'il était possible de réaliser des synthèses à l'échelle du secteur. Si nous voulons maintenant passer à une échelle supérieure nous allons nous heurter à un certain nombre de difficultés. Celles-ci proviennent surtout de l'emboîtement des coulées les unes dans les autres. Mais dans un système à dominante effusive nous pouvons considérer que la fluidité des laves entraîne un comblement progressif des dépressions et pour peu que nous raisonnions sur des périodes de temps assez longues nous pouvons penser que les coulées s'organisent en niveaux cohérents un peu comme un sédiment fluviatile s'organise en bancs à stratification entrecroisée. Nous savons depuis le travail de BOULE que ceci est vrai pour la répartition pétrographique des laves. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous allons étudier si dans chaque niveau pétrographique nous pouvons établir des subdivisions cohérentes dans l'ensemble du Massif. Nous verrons ensuite si, partant de ces subdivisions, nous pouvons les replacer dans un ensemble cohérent à l'échelle du complexe.

1) Les subdivisions magnétiques des ensembles pétrographiques et leur répartition géographique.

Pour la commodité de l'exposé nous partirons des niveaux supérieurs.

a) Les phonolites : Comme l'avaient souligné M. PREVOT et M. MACLE les phonolites se répartissent en deux ensembles :

- Les phonolites à aimantation inverse répandues dans l'ensemble du Massif.

- Les phonolites à aimantation normale dont l'extension

est beaucoup plus réduite puisque nous les rencontrons près du Mézenc et dans la région du Meygal-Lizieux.

Les phonolites à aimantation normale semblent surmontées par des phonolites inverses au Mézenc, au Meygal et au Lizieux.

Par contre, près de Queyrières, nous avons vu que, pour nous, un niveau de phonolite à aimantation inverse semble apparaître sous les andésites de Raffy d'une part, et sous les phonolites à aimantation normale du Rand d'autre part.

C'est pourquoi, nous pensons que les phonolites se sont mises en place à au moins trois niveaux différents, à savoir : deux niveaux à aimantation inverse séparés par un niveau à aimantation normale.

b) Les basaltes semi-porphyroïdes :

M. PREVOT écrivait que la totalité des basaltes β^o était à aimantation inverse. Ceci paraît valable, mais seulement pour la région qu'il a étudiée, car, comme l'a souligné M. MACLE dans le Nord du Massif nous rencontrons des basaltes semi-porphyroïdes à aimantation normale.

Au sommet de la coupe de Bournac, si nous retrouvons bien des basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse comme dans la vallée de la Gazeille, nous savons qu'ils sont précédés par des niveaux à aimantation normale.

Le niveau supérieur à aimantation inverse, très développé au Sud où il semble seul présent, s'amincit vers le Nord près de Champclause pour venir mourir à Montbusat au Sud du Massif du Lizieux. Par contre le niveau à aimantation normale, réduit au niveau de Machabert, se développe vers Champclause et les Vastres et devient prédominant au niveau de Recharinge et de Bellecombe.

On voit apparaître alors localement (à Chazeaux et le¹ Sou-
tour) un niveau à aimantation inverse à sa base ou intercalé dans les premiers niveaux.

En conclusion, il semble bien que les premiers épanchements de basalte (β^0) ont eu lieu au Nord du complexe et qu'ils se sont peu à peu déplacés vers le Sud recouvrant quatre périodes où la polarité a été successivement normale, inverse, normale et inverse. Enfin, signalons que les premières éruptions semblent s'intercaler dans des niveaux d'argiles sableuses (Bellecombe, Recharinges et Chazeaux en particulier).

c) Les basaltes compacts et les basaltes porphyroïdes.

Nous avons vu qu'il est difficile d'établir une coupure nette entre les deux catégories. Et, en accord avec P. BOUT (1966) et M. MACLE (1967) nous pensons qu'il vaut mieux les rassembler dans un ensemble de roches unique présentant des variations de faciès entre les différentes coulées, voire dans une même coulée.

De même nous rattacherons à cette série les basaltes (β_{II}) rencontrés à Bonnefoy sur les lignites car ils sont dans une position comparable à celle des basaltes inférieurs de la Gazeille.

C'est dans la coupe de Bournac à Machabert que l'on trouve les subdivisions les plus nombreuses. La base comporte en effet les mêmes éléments que dans la série de la Gazeille étudiée par PREVOT, mais la partie supérieure est plus complète comme nous l'avons déjà vu au sujet des basaltes semi-porphyroïdes.

Dans les deux cas nous retrouvons, dans les premiers niveaux un horizon à aimantation normale reposant soit sur des argiles sableuses (Bournac), soit sur des argiles ligniteuses (Gazeille). Ces niveaux sédimentaires sont précédés d'un horizon à aimantation inverse dont l'existence est certaine dans la vallée de la Gazeille, plus improbable dans la coupe de Bournac. Cependant, comme d'une part BOULE a observé des scories basaltiques sous les lignites de l'Aubépin et que nous avons noté d'autre part l'existence de coulées de basalte sous les lignites, nous pouvons affirmer que comme dans la vallée de la Gazeille, dans la vallée

de l'Aubépin les basaltes compacts ont précédé la mise en place des argiles ligniteuses pontiennes. La série des basaltes β_1 débuterait ainsi au Pontien par la mise en place de coulées à aimantation inverse. Elle continue au Pliocène par des niveaux successivement normaux puis inverses. Ensuite apparaissent des coulées lenticulaires intercalées de niveaux sédimentaires réduits dans la coupe de Bournac; mais donnant d'épaisses couches volcano-sédimentaires au niveau de la Gazeille. L'aimantation de ces coulées est souvent marquée par l'apparition d'aimantations anormales (aimantation visqueuse dominante ou champ à composante verticale faible ?). Toutefois des coulées normales semblent s'intercaler dans ce niveau. Ces éruptions marquent la fin des basaltes compacts dans la vallée de la Gazeille. Elles paraissent coïncider avec un cycle érosion-sédimentation important, puisqu'à Bournac les coulées terminales à aimantation inverse comblent des vallées à flanc raide, ennoyant ainsi les niveaux antérieurs.

Entre Gazeille et Aubépin la série des basaltes compacts et porphyroïdes comporte donc successivement des niveaux à aimantation inverse, normale, inverse, intermédiaire et enfin inverse. Les deux derniers épisodes étant postérieurs ou contemporains d'une phase de creusement.

A Monedeyres et Raffy nous trouvons la succession : aimantation inverse à inclinaison faible, normale, inverse. Une érosion semble ici précéder les derniers stades. La série correspondrait donc à la partie **basale** du spectre reconnu à Bournac.

Entre Bonnefoy et les Pradoux les basaltes débutent par un niveau normal reposant sur des argiles ligniteuses, puis comporte ensuite un niveau inverse et enfin un niveau normal. Il nous paraît normal de considérer que nous avons à Bonnefoy le deuxième, troisième et quatrième niveau de la série de Bournac. Tandis que le β_{1a} de la série du Rocher de Cuzet corres-

pondrait lui aussi au quatrième niveau du spectre de Bournac.

Sur les versants oriental et septentrional du Massif les coulées de basalte compact à aimantation normale semblent prédominer.

Dans le Massif du Lizieux à Araules et à Salces ces formations qui reposent sur des lambeaux de Pontien (au Nord du Lizieux, P. BOUT 1966) et à l'Ouest d'Araules (BOULE 1893) présentent une aimantation normale, ce qui conduit à les considérer comme contemporaines du second niveau de la série de la Gazeille. La présence de lambeau inverse à Chevalier va d'ailleurs dans le même sens.

L'épaisse coulée normale rencontrée entre les Merles et Abriès-Bas est à mettre en rapport avec la coulée normale de Villelonge qui se prolonge jusqu'au ravin de Gourgouras où le basalte compact recouvre à nouveau la série des argiles ligniteuses pontiennes. Nous pouvons donc valablement considérer que, de Villelonge aux Merles, les niveaux inférieurs de basalte compact sont contemporains du niveau 2 de la Gazeille.

Par contre les basaltes compacts à aimantation inverse que nous avons étudiés entre Gréaux et Fay-sur-Lignon nous semblent correspondre au niveau inverse du Grand Crouzet qui est sans conteste, antérieur aux basaltes à aimantation normale que l'on rencontre en contrebas de Champagnac. L'horizon inverse correspondrait donc au niveau 3 de la série Gazeille-Bournac tandis que le niveau supérieur correspondrait au niveau 4.

La coulée inverse de Fournourette qui occupe une vallée entaillée dans des horizons normaux peut correspondre au niveau 3 ou au niveau 5. Nous adoptons la deuxième hypothèse, mais nous tenons à préciser que les arguments ne sont pas décisifs.

CONCLUSION :

Les basaltes compacts recouvrent sans doute cinq périodes géomagnétiques (successivement inverse, normale, inverse, normale,

inverse). Les premiers niveaux contemporains du Pontien ne sont visibles que près du Massif du Mézenc et peut-être aussi près du Lizieux. Une phase d'érosion importante, surtout sensible sur le flanc Ouest, semble avoir pris place pendant les troisième et quatrième épisodes, entraînant la réduction de ces niveaux sur le flanc Ouest et l'accumulation du cinquième dans les vallées ainsi formées.

d) Les trachytes

Ils sont très réduits. Ils ne forment pas de grands ensembles cohérents comme les phonolites et les basaltes que nous venons de voir. Il s'agit plutôt de coulées intercalées à divers niveaux. Certaines ont une aimantation inverse (trachytes de base des tufs T_2 , de Chaulet) d'autres ont une aimantation normale. Seul un niveau repère normal semble présenter une certaine cohérence au voisinage du Massif du Mézenc. Nous allons essayer de le définir. Couronnant dans la série des rochers de Cuzet les tufs T_2 , nous avons rencontré des trachytes supérieurs à aimantation normale associés à des andésites et à des basaltes porphyroïdes discordants sur les tufs. Nous avons dit qu'une phase d'érosion devait séparer cet ensemble des tufs T_2 . La coupe réalisée entre Chaudeyrolles et St-Clément laisse aussi présager qu'une érosion précède la mise en place des trachytes supérieurs à aimantation normale. De plus, dans le secteur des Vastres, ces trachytes recouvrent indifféremment des basaltes compacts inverse, et des andésites inverses ou normales. Là encore nous avons probablement une phase d'érosion antérieure à la mise en place des trachytes.

Il en va de même au-dessus de la série de la Gazeille où les trachytes recouvrent le niveau instable constitué de scories et de tufs.

Il apparaît donc que nous pouvons distinguer un niveau de trachyte à aimantation normale reposant en discordance sur les

niveaux antérieurs qui s'intercalerait entre les basaltes semi-porphyroïdes et l'ensemble basaltes compacts-andésites. Nous désignerons ce niveau sous le nom de trachytes supérieurs.

Les niveaux de trachytes antérieurs à ce niveau repère se découperaient en deux niveaux :

- Les trachytes inférieurs à aimantation normale affleurant en amont de la Salidouze, à St-Clément et à Queyrières.
- Les trachytes moyens à aimantation inverse rencontrés dans le Mézenc à la base des tufs T₂ et à Monedeyres.

e) Les andésites et andésilabradorites.

De St-Clément à Clauzelles nous avons vu que les andésites comporteraient trois niveaux :

- niveau inférieur à aimantation normale à la base surmontant les trachytes normaux de Palhiès.
- niveau moyen à aimantation inverse.
- niveau à aimantation normale au sommet.

A Queyrières les andésilabradorites à aimantation inverse sont postérieurs au trachyte normal de base. Nous les rattachons donc aux andésites moyennes de St-Clément et Le Clauzelles.

C'est dans la série du Mézenc que nous rencontrons la série la plus complète. M. PREVOT considère que dans toute la série nous avons au moins 9 périodes d'inversion au minimum. D'après la discussion que nous avons faites nous en trouverions 11. Cela est sans doute vrai; toutefois il ne faut pas négliger l'existence possible de sills dans une formation de cette importance. L'existence de tels sills risque d'augmenter de façon artificielle le nombre des inversions du champ enregistré. Dans le Massif du Mézenc il est difficile de reconnaître si de tels phénomènes se produisent en raison de la nature des affleurements.

Cette réserve étant faite nous pensons raisonnable d'admettre que dans le Massif du Mézenc les andésilabradorites recouvrent au moins quatre périodes de champ géomagnétique.

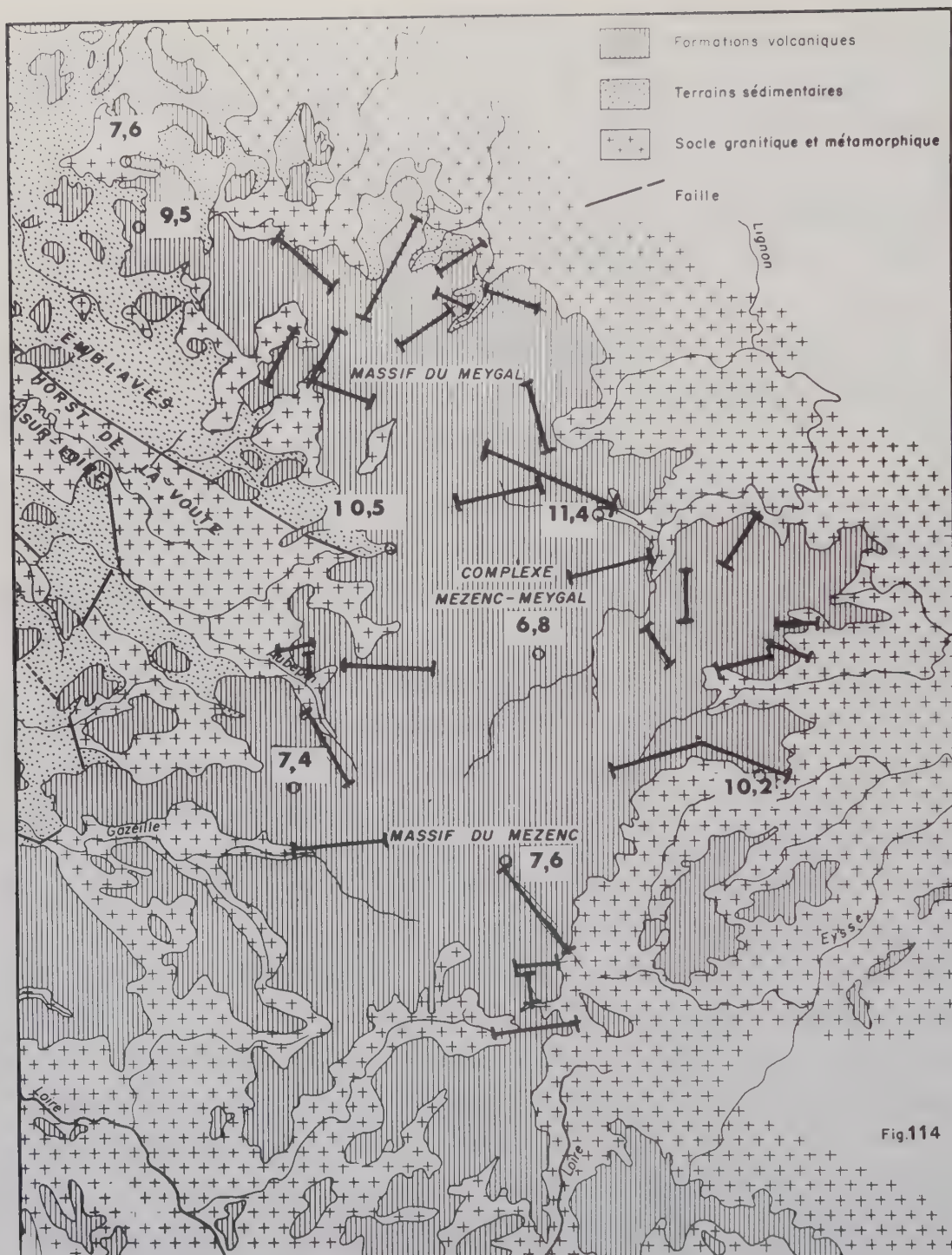


Fig.114

Fig. 114 - Répartition des coupes paléomagnétiques dans le Massif du Mezenc.

Position des datations obtenues.

f) Conclusion

Il est donc possible de découper les ensembles pétrographiques définis par BOULE en sous ensembles. Mais nous avons noté que les basaltes semi porphyroïdes débutaient à la partie Nord du complexe Mézenc Meygal, tandis que les basaltes compacts étaient plus développés dans la partie centrale, les andésites prédominant dans la partie S.E.

Ces trois séries de roches doivent recouvrir des périodes communes en s'intercalant comme le font les basaltes et les andésites au Clauzelles ou en se succédant. En effet la nature pétrographique des roches dépend du degré d'évolution du magma qui leur a donné naissance. Or cette évolution si elle est liée à l'évolution générale de la région est aussi fonction des caractères des chambres magmatiques. La nature pétrographique est de ce fait plus caractéristique d'un ensemble de cheminées volcaniques reliées à une même chambre que d'une région. Il est donc plus logique de tenter des corrélations de proche en proche à partir des caractères pétrographiques morphologiques et magnétiques locaux pour ensuite, à partir de ces corrélations, essayer de définir une stratigraphie générale. C'est ce que nous allons faire maintenant d'abord pour les parties Nord et Est du complexe puis, ensuite, pour les parties Sud et Sud Ouest.

2) Stratigraphie des parties Nord et Est du complexe Mezenc Meygal
(Fig. 114 et 115 A)

a) Stratigraphie relative

d) Nous avons signalé la parenté existant entre les séries du Nord de Lizieux et d'Araules. Cette similitude est soulignée par la présence de basaltes, souvent porphyroïdes à aimantation normale, associés à des phonolites à aimantation normale. De même dans le Massif du Meygal les phonolites à aimantation normale surplombent des basaltes à phénocristaux de pyroxène à aimantation inverse.

On peut donc penser que l'ensemble (phonolites à aimantation normale - basaltes à phénocristaux de pyroxène) rencontré dans toute la partie Nord du Massif forme un niveau repère recouvrant deux périodes de champ géomagnétique (inverse puis normale) et paralléliser les coupes obtenues au NE du Massif par ce niveau.

Nous savons que ce niveau coiffe dans la région de Queyrières, trois niveaux qui sont alternativement normal, inverse, normal.

Le volcanisme aurait donc débuté au Nord, dans la région de Queyrières, pour se développer vers le Nord-Est et couvrir l'ensemble Meygal-Lisieux.

Sur l'ensemble "phonolites normales - basaltes porphyroïdes", la succession est plus délicate à définir. Le plus généralement l'ensemble est recouvert par des phonolites à aimantation inverse. Mais les phonolites inverses recouvrent, aussi, à Arnissac et à Mont Busat, la série des basaltes porphyroïdes de Recharinges tandis qu'une coulée à aimantation normale située à Pialevialles et qui se raccorde aux coulées supérieures de Recharinges, recouvre une série sédimentaire renfermant des nodules de pyroxène et des galets de phonolites. Par ailleurs, près de Queyrières, nous avons vu des basaltes semi-porphyroïdes inverses recouper une formation sédimentaire très comparable à celle de Pialevialles et contenant comme celle-ci des nodules de pyroxène et des blocs de phonolites. De part et d'autre de la Forêt du Meygal, il est donc certain qu'une partie au moins des basaltes semi-porphyroïdes est postérieure aux basaltes à phénocristaux de pyroxène et à certaines phonolites mais antérieure aux phonolites terminales inverses. A Queyrières les basaltes β^0 et les brèches associées remplissent entre 1100 et 1150 m une ancienne vallée entaillée dans les basaltes à phénocristaux qui affleurent à 1300 m. Il y a donc eu une phase d'érosion entre la mise à jour des basaltes porphyroïdes et la période de sédimentation contemporaine des basaltes semi-porphyroï-

des. A Chazeaux, le niveau inférieur des basaltes semi-porphyroïdes est synchrone d'une phase de sédimentation, puisque la coulée inférieure est intercalée dans des niveaux argileux (M. MACLE 1967).

En tenant compte de tous ces éléments nous sommes amenés à conclure que la série des basaltes β^0 s'intercale entre le niveau "basaltes porphyroïdes - phonolites normales" et les phonolites inverses. Les laves qui occupent la partie Nord et Nord-Est du complexe Mezenc - Meygal se subdiviseraient ainsi en deux ensembles séparés par une phase d'érosion.

- a) A la base, une série comprenant des trachytes, des basaltes compacts, des phonolites et des basaltes porphyroïdes recouvrant cinq périodes de champ géomagnétique.
- b) Au sommet, une série de basaltes semi-porphyroïdes et de phonolites recouvrant au moins quatre périodes de champ géomagnétique et synchrone, au moins au début, d'une phase de dépôt.

Pour faciliter notre exposé, nous désignerons ces niveaux de la manière suivante :

- 1°) Série de base
 - SB5 + Phonolites et basaltes porphyroïdes
 - SB4 - Basaltes porphyroïdes
 - SB3 + Basaltes compacts
 - SB2 - Trachytes et basaltes compacts
 - SB1 + Trachytes et basaltes compacts.
- 2°) Série terminale
 - ST4 - Phonolites terminales
 - ST3 + Basaltes semi-porphyroïdes coulées supérieures de Recharinges, Chazeaux et Bellecombe.
 - ST2 - Basaltes semi-porphyroïdes coulée inverse de Chazeaux et Bellecombe.
 - ST1 + Coulée inf. de Chazeaux et Bellecombe.
- β) Dans le secteur de Champagnac-Champclause, il est

logique de raccorder les basaltes de Ourbe à ceux du hameau de la Chèze. Ils se rattacheraient ainsi au niveau SB5. Les coulées inverses du Grand Crouzet et de Fourmourette * se rattacheraient au niveau SB4 et les formations étudiées à Abries bas et aux Merles correspondraient au niveau SB3.

Par contre les basaltes de Champagnac, comparables à ceux de Recharinges, peuvent se rattacher au niveau ST3 et les basaltes des Teyres au niveau ST4. La coulée de Chaud de la Croix, postérieure à la série de Recharinges, qu'elle recouvre, correspondrait peut-être à la période de transition entre ST4 et ST3.

γ) Dans le secteur de Vastres nous avons vu que le niveau inverse de le Clauzelle et de Crosdo devait s'intercaler entre la coulée à aimantation normale de Villelonge et les coulées à aimantation normale du Crouzet. Par ailleurs, ce niveau inverse prolonge sur la rive droite du Lignon la coulée inverse du Grand Crouzet rencontrée sur la rive gauche. On peut donc raisonnablement le rattacher au niveau SB4. La coulée de Villelonge correspondrait au niveau SB3 et les coulées inférieures des Vastres et celles du Crouzet au niveau SB5.

Les basaltes semi-porphyroïdes des Vastres pourraient se raccorder au niveau ST3, la coulée à aimantation inverse de Soutour correspondant au niveau ST2, les trachytes de Crosdo et le Clauzelles discordant sur la série SB, se rattachant au niveau ST1.

δ) Nous avons dit que la série des andésilabradorites inverse de St-Clément devait se rattacher à celle de Crosdo. Il s'agirait ainsi du niveau SB4, le sommet de la série pouvant correspondre au niveau SB5 et la base au niveau SB3.

En tenant compte des continuités morphologiques d'une part et du sens de l'aimantation, nous pouvons ainsi proposer les corrélations représentées sur la figure 115 (a)

b) Essai de chronologie absolue.

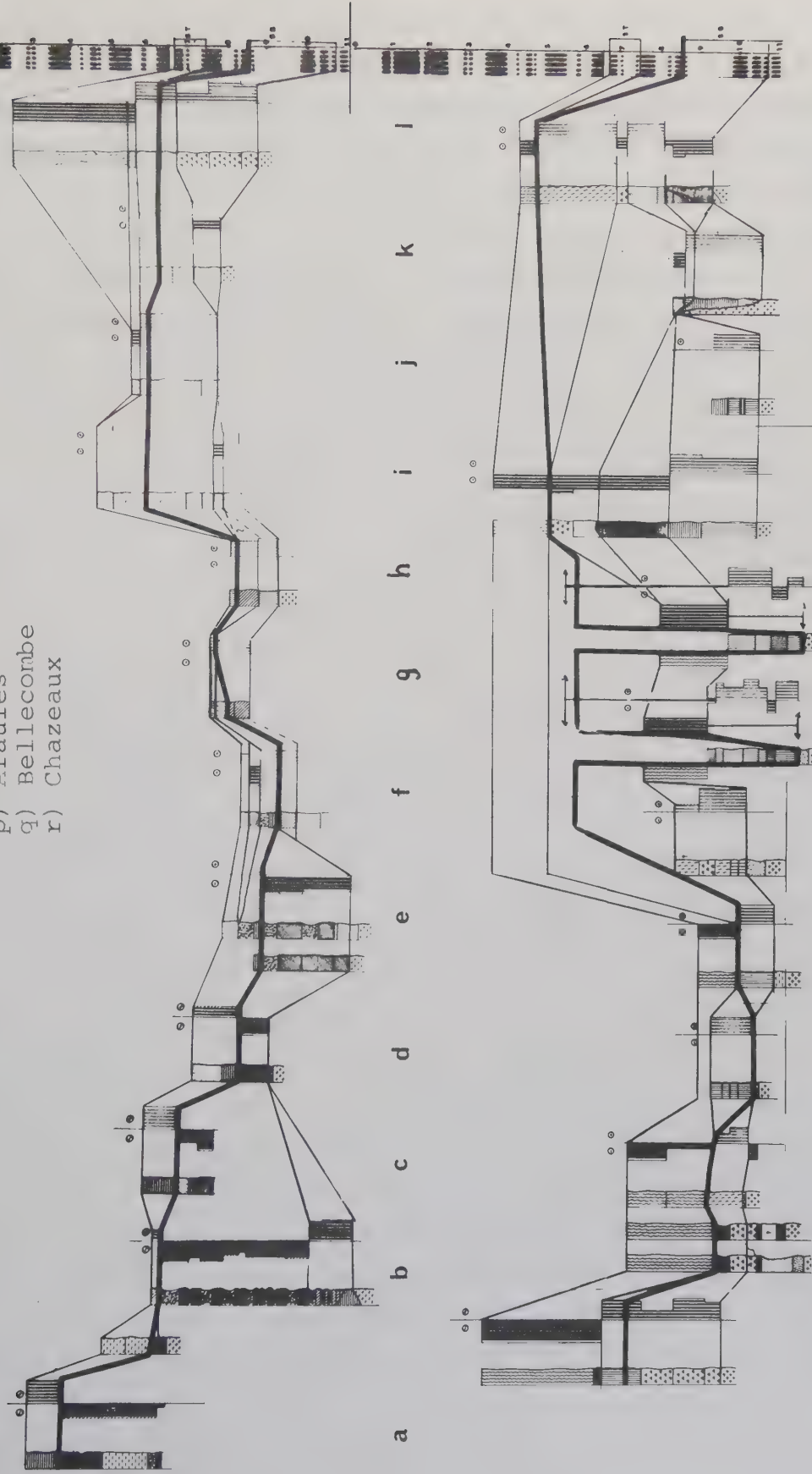
L'échelle des inversions mise en évidence dans le Massif

* La coulée de Fourmourette peut aussi se raccorder à une période inverse postérieure à SB5.

a) St. Clément
b) N 500 D 26
c) Croso
d) Clauzelles
e) Crouzet
f) Les Vastres
g) Villelonge

h) Recharinges
i) Salces
j) Araules
k) Bellecombe
l) Chazeaux
m) la croix
n) Plan de la croix
o) Plan de la croix
p) Recharinges
q) Salces
r) Araules
s) Bellecombe
t) Chazeaux

u) Mont Chanis
v) Queyrières
w) Monedeyres le Meygal
x) Echelle des inversions
y) et âge en MA.



Corrélations des coupes paléomagnétiques

du Meygal nous permet-elle de dater les éruptions ? Si nous la comparons à l'échelle des inversions déduite de l'analyse des anomalies magnétiques qui jalonnent les rides océaniques (Fig. 115 Aa), il est évident que la connaissance de tronçons d'échelles discontinus ne suffit pas pour situer ceux-ci dans l'échelle générale.

Le paléomagnétisme n'est donc pas suffisant pour établir une chronologie absolue. Les datations radiochronologiques sont indispensables pour déterminer des âges qui permettront de replacer les séries obtenues dans l'échelle des inversions et tenter ainsi de préciser la chronologie de l'évolution du Massif. Nous ne disposons d'aucune datation sur les roches analysées magnétiquement, mais nous pourrions essayer d'utiliser celles obtenues par J.M. CANTAGREL et J. MERGOIL (1970).

a) L'âge de la série ST

Au Nord-Ouest du Meygal, les basaltes de Bonneviales (fig. 114) ont été datés de $7,4 \pm 5\%$ M.A. Il s'agit de basaltes que BOULE rattachait aux basaltes semi-porphyroïdes qui entourent le Massif du Loségal et à laquelle se rattachent les basaltes semi-porphyroïdes des séries de Chazeaux, Bellecombe et Recharinges. Au Sud de Champagnac, les phonolites de Roffiac à aimantation inverse (M. PREVOT 1963) ont été datées de $6,8 \text{ MA} \pm 5\%$. Elles recouvrent les basaltes semi-porphyroïdes de la région de Champagnac et se raccordent au niveau inverse des Teyres. Les basaltes porphyroïdes se situeraient donc au voisinage de $7,4 \text{ MA}$ et $6,8 \text{ MA}$. Etant donné les limites ainsi définies et l'importance des aimantations normales rencontrées dans les basaltes semi-porphyroïdes, il y a tout lieu de penser que ceux-ci ont vu le jour durant les périodes de champ normal rencontrées entre $6,8 \text{ MA}$ et $7,4 \text{ MA}$ (fig. 115 Aa). Cette position explique très bien l'intercalation des coulées inverses rencontrées à Bellecombe et à Chazeaux. De plus les directions à faible inclinaison signalées au sommet de la série de Recharinges, à Salreupt, à la Beysache et à Chaud de la Croix pourraient accompagner une phase inverse.

Compte-tenu de ces données, nous pouvons raisonnablement envisager d'attribuer les âges suivants aux basaltes semi-porphyrôïdes :

- 1°) Première coulée de Chazeaux et de Bellecombe:
7,35 - 7,4 MA Niveau ST1
- 2°) Deuxième coulée de Chazeaux et de Bellecombe',
7,35 - 7,3 MA Niveau ST2
- 3°) Coulées supérieures de Chazeaux, de Bellecombe et
coulées de Recharinges (Niveau ST3) Coulée Chaud de
la Croix: 6,8 - 7,3 MA.
- 4°) Coulées à aimantation inverse des Teyres
6,6 - 6,8 MA (Niveau ST4)

L'âge de la série SB

Des trachytes ont été datées d'une part, au Sud de Queyrières, à Montusclat ($10,5 \text{ MA} \pm 5\%$) et d'autre part, au nord de Queyrières, à Riou Frei ($9,5 \text{ MA} \pm 5\%$). A Montusclat, ces trachytes situées à la base de la série, sont surmontées par des basaltes^{3°} comme ils le sont au Mas tandis qu'à Riou Frei, ils sont intimement associés aux phonolites du Loségat dont la structure est très proche de celle du Suc de Raffy. Nous pouvons donc valablement considérer que les trachytes du Mont Chanis et de Monedeyres et la série associée se situent au voisinage de 10 MA. La grande quantité de lave à aimantation normale dans le niveau supérieur (SB5) de la série de base du complexe Meygal-Lizieux (phonolites du Meygal, phonolites et basaltes d'Araules, phonolites et basaltes de Lizieux) nous conduisent à paralléliser ce niveau avec une très longue période de champ normal. La figure 11⁵ A₃ montre qu'il en existe une entre 8,6 MA et 9,8 MA. Nous pouvons donc logiquement placer la série des phonolites normales à ce niveau. Etant donné l'absence de paléosols dans la série de base, les éruptions doivent se succéder dans le temps sans grande coupure. Ceci nous amène ainsi à attribuer les âges suivants aux divers niveaux de la série de base SB.

Niveau SB5: 8,6 - 9,8 MA Phonolites normales et basaltes porphyroïdes d'Araules, Salce, du Lizieux et du Nord du Meygal.

Niveau SB4: 9,8 - 10,15 MA Basaltes porphyroïdes inverses de Queyrières (Base du Lizieux ?) Andésilabradorites de Queyrières.

Niveau SB3 10,15 - 10,3 MA Basaltes normaux de Monedeyres

Niveau SB2 10,3 - 10,5 MA Trachyphonolites et trachytes inverses de Monedeyres, du Mas et de Raffy

Niveau SB1 10,5 - 10,6 MA Trachytes et basaltes normaux du Mont Chanis et de Queyrières

Les trachytes de Queyrières seraient donc synchrone des trachytes de Montusolat. Cette échelle explique aussi très bien la faible puissance des basaltes normaux de Monedeyres car la période qu'il représente est de courte durée.

En tenant compte des corrélations établies, la coulée des Merles dépendant du niveau SB3, se situerait au voisinage de 10,2 MA. Une datation faite sous cette coulée a donné un âge de 11,4 MA $\pm$ 5%. Mais il existe, sous les coulées étudiées aux Merles, des coulées que nous n'avons pas étudiées.

Nous avons raccordé les formations inverses du Grand Crouzet, de Crosdo, du Chauzelles et de St. Clément au niveau SB4 soit entre 9,8 et 10,15 MA et la série de base de St-Clément au niveau SB3 soit entre 10,15 et 10,3 MA. Or nous disposons d'une datation puisque la première coulée d'andésilabradorites de St-Clément a été datée de 10,2 MA $\pm$ 5 %. Cette indication nous conduit à penser que le schéma que nous venons de proposer est correct dans ses grandes lignes. Nous avons noté au Clauzelles que les lignites doivent s'intercaler dans le niveau inverse compris entre 9,8 et 10,15 MA. Cette échelle explique aussi très bien la présence sous le niveau SB5, au Nord du Lizieux et à Araules, des sédiments pontiens signalés par BOULE (1893) et BOUT (1968).

3) Stratigraphie des versants Sud et Sud Ouest du complexe Mezenc-Meygal (Fig. 115B).

a) Chronologie relative

1) Si nous comparons les coupes de Monedeyres (fig. 110 c)

et du flanc Sud du Plateau des Sanniaux (fig. 110 a), nous constatons que dans les deux cas les basaltes débutent à 1100 m par un niveau à aimantation normale auquel succède un niveau à aimantation inverse.

A Moudeyres, les niveaux inférieurs sont antérieurs aux lignites de l'Aubépin. Ces lignites se développeraient ainsi au voisinage du niveau inverse qui constitue le second niveau.

Dans le ravin de la Gazeille (Fig. 112), les lignites surmontent une coulée inverse et sont recouverts par une coulée à aimantation inverse. A Bonnefoy (fig. 113), les lignites sont recouverts par une coulée à aimantation normale.

Dans chaque coupe, le niveau ligniteux est toujours unique. Il est logique de considérer qu'il correspond à un niveau sédimentaire lié à une phase climatique dans le temps et paralléliser les niveaux normaux qui le surmontent et les niveaux inverses qui l'encadrent. (Notons que nous retrouvons une situation comparable à celle existant dans la série du Clauzelles où les lignites sont intimement associés à un niveau à aimantation inverse).

Il est donc logique de paralléliser les niveaux de base des différentes coupes réalisées sur les coulées des Plateaux Sud-Occidentaux.

(b) En ce qui concerne les niveaux supérieurs, nous avons vu que les données magnétiques permettaient de paralléliser le niveau des tufs et argiles rouges de la Gazeille avec les sédiments stratifiés de l'Aubépin et les niveaux supérieurs de la série de Bournac.

Les tufs associés à la série supérieure comportent, en amont de la Gazeille, des niveaux d'argiles rouges très développés. Ces argiles rouges étaient particulièrement visibles lors des travaux d'élargissement de la route La Vacheresse - Les Etables. Il est probable que ces argiles se sont formées pendant une longue phase d'altération des roches. On peut donc logiquement supposer

l'existence d'une pause dans l'activité volcanique qui a permis l'apparition des argiles, puis la reprise de ces argiles et des tufs par les eaux superficielles pour constituer la série de l'Aubépin. Un cycle érosion - sédimentation sépare vraisemblablement les coulées volcaniques terminales des niveaux de base. Nous retrouvons une évolution comparable à celle que nous avons rencontrée à la base de la série terminale dans le nord du complexe. La venue des trachytes supérieures de la Freydeyre et des basaltes semi-porphyroïdes à aimantation inverse qui les couronnent, marquerait la reprise d'une activité volcanique importante en amont de l'Aubépin et de la Gazeille.

Nous avons vu que les basaltes porphyroïdes du sommet de la série de Bonnefoy se raccorderaient sans doute aux basaltes porphyroïdes des Rochers de Cuzet. Ces éléments permettent de tenter des corrélations (fig. 115 B).

b) Essai de Chronologie absolue
Age des niveaux supérieurs

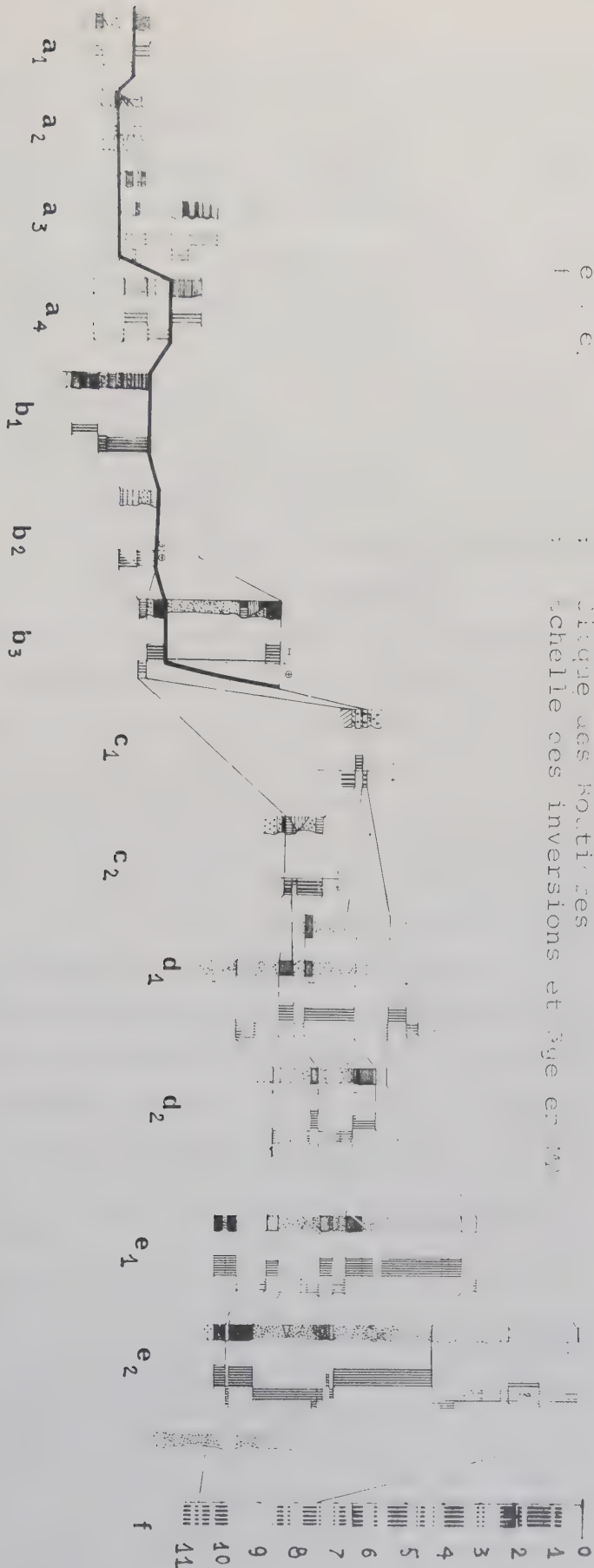
Nous disposons de certaines datations. Les trachytes de la Feydeyre qui surmontent la série de Moudeyres sont datés de $7,4 \text{ MA} \pm 5\%$. Nous avons dit que les phonolites de Roffiac datées de $6,8 \text{ MA}$ se rattachaient probablement à la période inverse comprise entre $6,6$ et $6,8 \text{ MA}$. Elles recouvrent les basaltes à aimantation inverse de St-Front qui, comme le basalte des Teyres, peut se situer durant la même période de champ géomagnétique. Tenant compte de la stratigraphie de la série de Machabert et du Plateau des Sanniaux, nous pouvons attribuer les âges suivants à la série de Bournac-St-Front.

Niveau 6 : aimantation inverse $6,6 - 6,8 \text{ MA}$

Niveau 5 : aimantation normale $6,8 - 6,9 \text{ MA}$
(Coulée de Machabert)

Niveau 4 : aimantation inverse $6,9 - 7 \text{ MA}$

Niveau 3 : coulées lenticulaires et tufs associés $7 - 7,4 \text{ MA}$. L'alternance des périodes inverses et nor-



Correlations des données paléomagnétiques

males de courtes durées au voisinage de 7,3 et 7,4 MA expliquerait très bien :

- d'une part, la présence de directions d'aimantation anormales dans le niveau 3 de Bournac, les tufs de l'Aubépin et ceux de la Gazeille,
- d'autre part, la parenté entre les caractères des aimantations rencontrées à la base des séries de Chazeaux, de Bellecombe et près de Machabert.

Il y a donc, incontestablement, convergence des données géologiques, radiochronologiques et magnétiques pour corrélérer la base des basaltes semi-porphyroïdes du Nord du Massif (Série T) avec la série des tufs de la Gazeille et surtout de l'Aubépin et avec les coulées qui les surmontent.

Âges des séries de base

Nous avons vu que, dans le Cirque de Boutières et les Rochers de Cuzet, si toutes les formations étudiées correspondent à des coulées et non à des sills, la série volcanique couvrirait 11 périodes de champ géomagnétique (fig. 115 B). La coulée supérieure du Mezenc a été datée de 7,6 MA $\pm$ 5% (CANTAGREL et MERGOIL 1970) et 7,57 MA (DAL RYMPLE in CANTAGREL et MERGOIL 1970). Son aimantation inverse permet de la situer dans le niveau inverse compris entre 7,4 et 7,8 MA.

En supposant une activité discontinue mais régulière dans le temps, nous obtiendrions l'échelle chronologique suivante :

- Niveau 11 : Phonolite du Mezenc 7,4 - 7,8 MA
- Niveau 10 : Phonolite normale du Mezenc 7,8 - 8,1 MA
- Niveau 9 : Trachytes supérieurs ouest du Rocher de Cuzet 8,1 - 8,2 MA
- Niveau 8 : Basaltes porphyroïdes du Rocher de Cuzet 8,2 - 8,3 MA
- Niveau 7 : Tufs T2 et trachytes supérieurs Est du Rocher de Cuzet 8,3 - 8,5 MA
- Niveau 6, 5, 4 : Tufs T1 8,5 - 9,8 MA. L'intercalation inverse rencontrée au sommet des Tufs T1 correspondrait à la phase inverse très courte à 8,6 MA et sa réduction s'expliquerait très bien par la faible durée de cette période.

Niveau 3 : Andesilabradorites de Hergnes 9,8 - 10,15 MA

Niveau 2 : Trachytes de Hergnes 10,15 - 10,3 MA

Niveau 1 : Basaltes inférieurs 10,3 - 10,5 MA

Les trachytes de Hergnes seraient ainsi équivalents des trachytes inférieurs de St-Clément et de Montusclat.

Les basaltes porphyroïdes du Rocher de Cuzet et du sommet de la série de Bonnefoy à aimantation normale appartenant au niveau 8, se situeraient ainsi entre 8,2 et 8,3 MA. Le niveau β^1 a à aimantation inverse de Bonnefoy aurait vu le jour entre 8,3 et 8,5 MA comme les basaltes qui supportent les tufs de la série de la Gazeille.

Les coulées de base à aimantation normale de la série de Bonnefoy et l'épaisse série normale de la Gazeille se placeraient dans les épisodes normaux compris entre 8,5 et 9,8 MA et correspondraient au niveau SB5 rencontré au Nord du Massif, et aux tufs T1. (Les niveaux à faible inclinaison ou à direction d'aimantation anormale que l'on rencontre dans ces séries pourraient alors être liés à l'épisode inverse qui apparaît au voisinage de 8,6 MA).

Les coulées inverses qui accompagnent les lignites dans les vallées de l'Aubépin et de la Gazeille se situeraient dans l'époque de champ inverse qui apparaît entre 9,8 et 10,2 MA. Les lignites de la Gazeille et de l'Aubépin auraient bien le même âge que ceux du Clauzelles.

Nous devons aussi remarquer que les témoins d'une érosion apparaissent dans le Mezenc à la base des tufs T₂ avec des argiles rouges (8,3 - 8,5 MA) et surtout à la base des β^1 a de la Montagne de Chaulet (8,2 - 8,3 MA), soit à un âge comparable à celui de l'érosion qui succède au niveau SB5 au Nord du Massif et à celui de l'érosion qui précède les sédiments de l'Aubépin.

3 - CONCLUSION

Il est possible de coordonner les observations géologiques, les datations obtenues et le sens de l'aimantation des laves dans le cadre d'un schéma d'évolution du complexe Mezenc-Meygal, et

Age	0	1	2	3	4	4'	5	6	7	8	9	10	
M A													
6,6	—	—	—	—	—	—	—	↑	—	↑	—	—	Série S - T
	—					φo βo	φo ↑	φo ↑	φo	φo			
6,8	—	—	—	—	—	—	—	—	βo	βo	—	—	
	+												Série S - M
	—			↑									
7	—	—	—	—	τ'a	βo	βo	βo	βo	βo	βo	τ'a	
	+	↑		τ'a	sed	sed	sed	sed	sed		τ'a	τ'a	Série S - B
	—	βo		~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~		~~~~	~~~~	
	+												
7,4	—	↑											Série S - T
	—	φo						↑					
	~~~~												
7,8	—	—											Série S - M
	+	φo	↑	tufs									
8,1	—	—	—		érosion	érosion	érosion	érosion					Série S - B
	—	τ'											
	+	β'a	β'a	~~~~	érosion	érosion	érosion	érosion					
8,3	—	~~~~							érosion				Série S - T
	—												
	—	T2	β'a					↓	érosion			érosion	
		τ		β'b	~~~~								Série S - M
	~~~~												
8,5	—	—											
	+	↑	β'b			~~~~	~~~~			?	2		Série S - B
	—		τ			β'b	↑						
	—	T1		β'b		β'b			?	β'b			
	+										α'λ'		Série S - T
		α'λ'	β		β'b	β'b	φo		~~~~			α'λ'	
9,8	—	—	lig	β'b	β'b	β'b			φo	β'b	α'λ	α'λ'	Série S - M
	—	α'λ	↓	lig	lig	lig			β'a	β'b	lig	α'λ'	
									β'b		β'b	τ	
	+	τ'b					β'b			β'b			Série S - B
	—	β					τ'b						
							T4						
10,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Série S - T
	+						τ'b						
							β'			β'b			

Tableau N° 115 D :

- 1 - Cirque des Boutières et Mezenc.
- 2 - Massif de Bonnefoy.
- 3 - Gazeille.
- 4 - Aubépin Sud.
- 4' Aubépin Nord.
- 5 - Queyrières.
- 6 - Chazeaux Bellecombe.
- 7 - Lizieux Recharinges.
- 8 - Champlause Ourbe.
- 9 - Les Vastres.
- 10 - Saint Clément.

O - Polarité.

Sed. Sédiments fluviatiles et lacustres.

lig. lignite.

T tufs.

~ ~ ~ -érosion.

φo -phonolite.

τ' -trachytes.

β'b-basalte compact.

β'a-basalte porphyroïde.

βo -basalte semi porphyroïde.

de proposer une chronologie absolue de l'évolution (tableau 115 C) de cette région.

Ce schéma d'évolution rend compte de toutes les observations de terrain et de toutes les données magnétiques. Il nous semble donc incontestable qu'il est valable dans ses grandes lignes. Mais, il est probable que des erreurs de détail subsistent du fait que les datations n'ont pas été faites sur les roches ayant fait l'objet d'analyses magnétiques. Il est cependant certain qu'une série de datations en nombre réduit (10 à 20) permettrait de préciser le schéma et de le transformer en certitude.

Pour arriver à une aussi grande précision dans la stratigraphie à partir des seules datations radiochronologiques, il serait nécessaire d'en réaliser plusieurs centaines, et encore bien des incertitudes subsisteraient.

Nous avons vu aussi que la morphologie et la pétrographie, seules, ne permettent pas d'aboutir à une aussi grande précision.

Le paléomagnétisme des laves permet de faire un découpage plus fin que les méthodes précédentes et d'établir des corrélations locales mais il ne permet en aucun cas de préciser, au moins pour les laves tertiaires, l'âge des formations étudiées.

Par contre, l'utilisation coordonnée de ces techniques, doit permettre d'arriver à un schéma précis d'évolution. Dans les complexes de style Hawaïen, données paléomagnétiques, morphologiques et pétrographiques, utilisées simultanément permettent d'affiner les corrélations locales et de définir des successions verticales d'inversion du champ géomagnétique. Les datations radiochronologiques, en nombre limité, permettent ensuite de situer les séries ainsi définies dans l'échelle des inversions.

Le paléomagnétisme apparaît donc ainsi comme une méthode complémentaire des méthodes de datations radiochronologiques, puisqu'il en précise les données et en limite le nombre. Nous reviendrons dans la conclusion de notre travail, sur la méthode d'étude

de l'évolution des Massifs volcaniques tertiaires.

Nous tenons à préciser une nouvelle fois que le schéma que nous présentons ici, n'est qu'une première ébauche qui devrait être précisée à l'avenir. En particulier avec de nombreux échantillons, une analyse précise de l'évolution, de la direction et de l'intensité des A.T.R. portées par les basaltes semi-porphyrôïdes et les coulées interstratifiées dans les tufs de l'Aubépin et de la Gazeille, devrait permettre de préciser l'évolution des paramètres du champ au cours des changements de polarité et de vérifier si, dans les périodes où le champ géomagnétique s'inverse souvent, la composante principale du champ est dipolaire ou non. En effet, alors que dans la plupart des coulées la direction du champ oscille autour de celle d'un dipôle géocentrique, les coulées des niveaux de base de la série supérieure présentent des directions d'A.T.R. très différentes et apparaissent parfois comme de fausses aimantations normales (I positif avec déclinaison supérieure à 90° W).

LES REMBLAIEMENTS VILAFRANCHIENS DU BASSIN DU PUY D'APRES P. BOUT (1963).

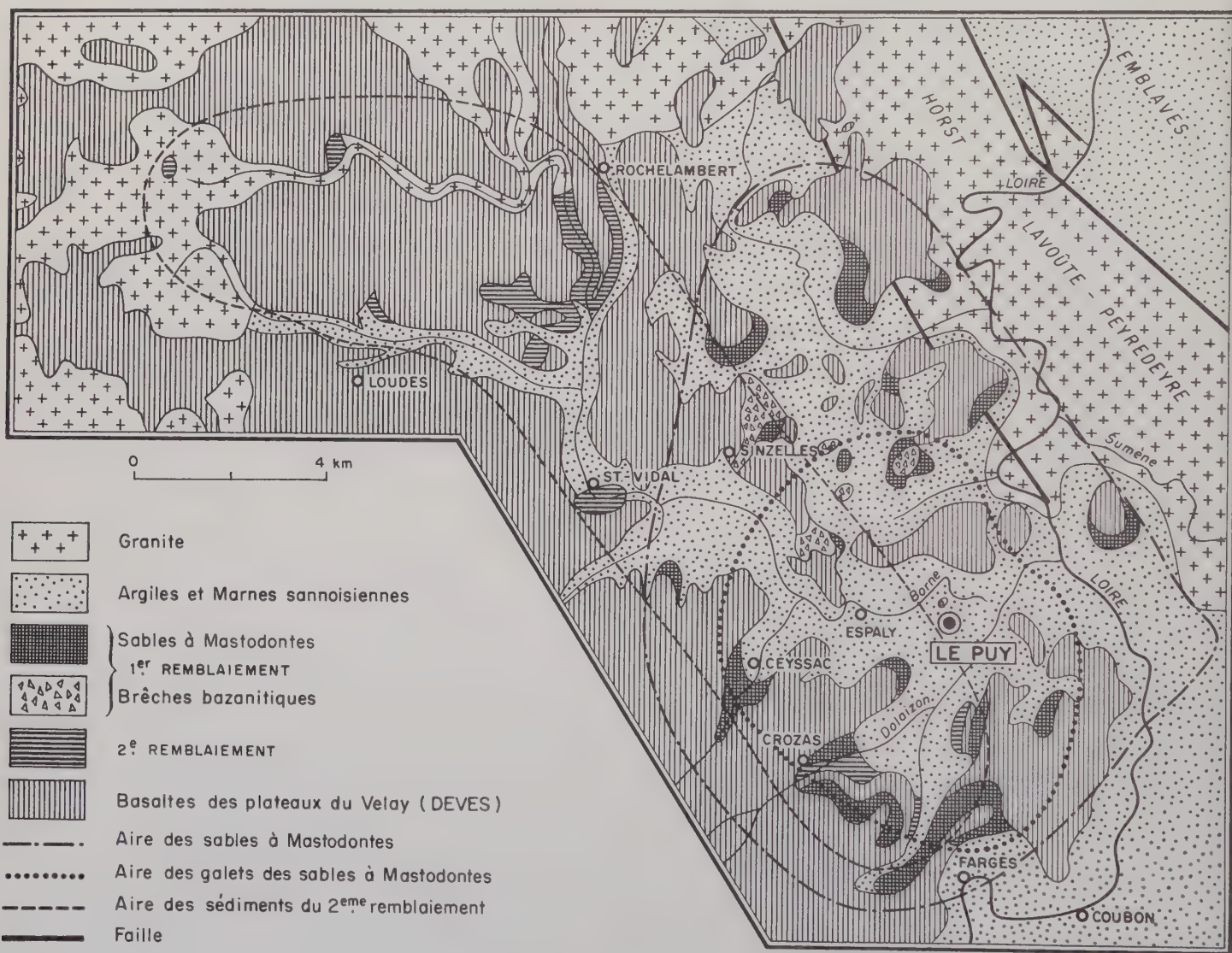


Fig. 116

B - LE MASSIF DU DEVES.

I) LES OBJECTIFS POURSUIVIS.

Alors que dans le complexe Mézenc-Meygal, les éruptions s'étalent du Miocène au Villafranchien, dans le Massif du Devès nous savons depuis les travaux de BOUT (Thèse 1960) que les éruptions sont essentiellement villafranchiennes. La méthode paléomagnétique ne peut donc avoir ici les mêmes objectifs. Dans le complexe Mézenc-Meygal nous tentions de définir une stratigraphie relative valable pour l'ensemble du Massif. Ici ce travail ne s'impose pas; et la méthode paléomagnétique ne mérite d'être employée que si elle permet d'établir une chronologie fine et de proposer une chronologie absolue.

Pour ce faire, nous avons réalisé une coupe synthétique à travers tout le Massif du Devès. De direction Est-Ouest, elle va du Puy-en-Velay à Monistrol d'Allier (fig. 117). Nous la compléterons par des prélèvements réalisés, au Nord du Massif, à Roche Lambert et par les résultats obtenus par ROCHE (1958-1963).

Nous avons publié l'essentiel des résultats que nous avons obtenus (C. BOBIER, 1969). Nous reprendrons ici cet exposé en précisant un certain nombre de points et en ajoutant les résultats que nous avons obtenus après cette publication.

II) RAPPEL DES DONNEES STRATIGRAPHIQUES.(fig. 116)

BOUT (1960) a montré que les sédiments oligocènes qui constituent l'essentiel du bassin du Puy sont recouverts par deux niveaux de sédimentation lacustre d'âge villafranchien qui succèdent chacun à une phase d'érosion. Il s'agit en fait de deux épisodes de remplissage emboîtés l'un dans l'autre.

Le premier remplissage villafranchien est constitué par ce que l'on désigne depuis les travaux de BOULE (1893) sous le

CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DE LA ZONE ETUDIEE

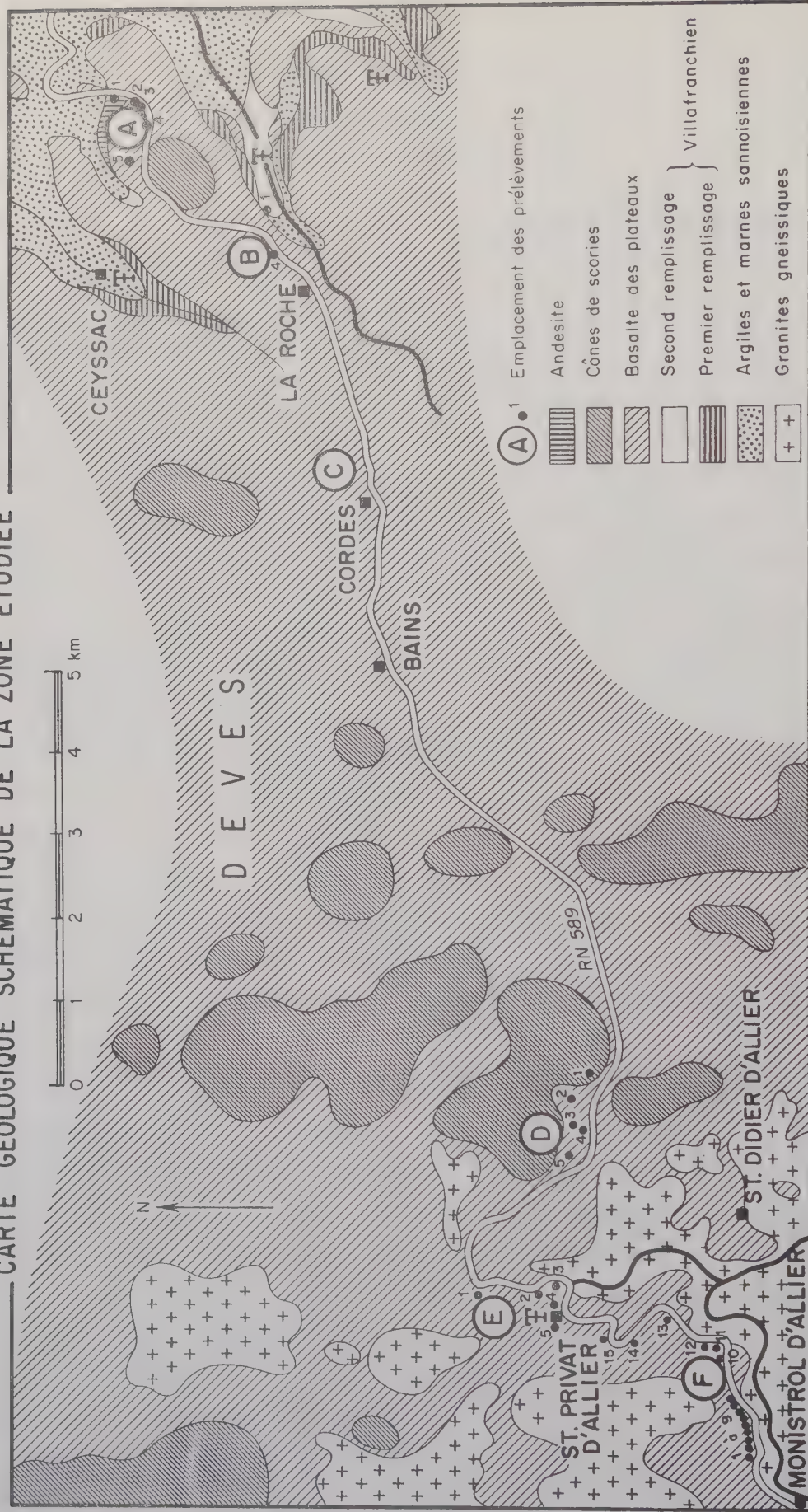


Fig. 117

nom de Sables à Mastodontes. Ces sédiments sont contemporains d'une faune à Mastodontes comportant d'après BOULE et BOUT :

- Mastodon arvernensis
- Equus stenonis
- Tapirus arvernensis
- Cervus sp.
- et un Elephas archaïque

Le second remplissage débute avec des niveaux renfermant : Elephas meridionalis.

Des études polliniques ont été réalisées dans les niveaux argileux intercalés dans chaque série.

D'après BOUT, les flores correspondantes présentent les caractères de flores tiglienne et pré-tiglienne. Des comparaisons utiles ont été tentées avec le Massif du Sancy par A. BRUN (1970).

La répartition paléogéographique des deux remblaiements est indiquée sur la fig. (116) empruntée à P. BOUT, (1963). Dans le Bassin du Puy les deux remplissages sont caractérisés par un faciès lacustre. Dans le premier remplissage localisé à la partie Sud du Bassin, il faut noter l'existence dans le Bassin du Puy d'un niveau à galets. Dans ce poudingue on rencontre à peu près toutes les laves du Massif du Mézenc (Basaltes β'_b , β'_a trachytes et phonolites). On a ainsi la preuve de l'antériorité d'une grande partie des formations du complexe Mézenc-Meygal par rapport au premier remplissage. Ce premier remplissage est contemporain d'émissions volcaniques qui ont donné naissance aux coulées de brèches basanitiques interstratifiées qui parsèment le Bassin du Puy en Velay.

Le second remblaiement quant à lui n'est pas très riche en formations volcaniques. Mis à part quelques andésites dont nous aurons à parler plus loin, les formations interstratifiées dans ce second remplissage sont très réduites et ce n'est qu'à la fin de cet épisode qu'apparaîtra le volcanisme extrêmement puissant qui a donné naissance à l'ensemble du Massif du Devès

dont nous allons maintenant aborder l'étude paléomagnétique.

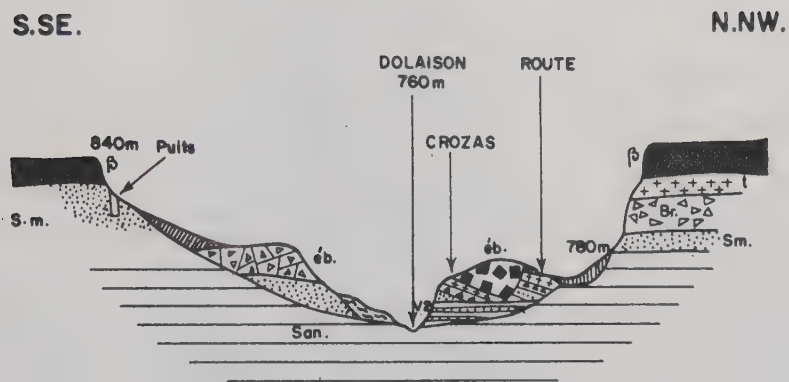
I) LE VERSANT ORIENTAL.

Nous avons choisi d'implanter nos prélèvements d'une part dans le ravin du Dolaizon et le ravin de Ceyssac où les formations villafranchiennes sont particulièrement bien définies à la suite des travaux de BOULE (1893) et BOUT (1963) par les flores et les faunes, d'autre part près de Roche Lambert où le second remblaiement est bien connu.

1) Une coupe sur le flanc gauche de la vallée du Dolaizon près du hameau du Crozas (Photographies 6 - 13)

Nous emprunterons à P. BOUT la coupe du ravin du Dolaizon. Son interprétation nous paraît être la meilleure (fig. 118).

Tandis que le bas de la vallée du Dolaizon, au niveau et en amont de Vals, est entaillé dans les argiles vertes du Sannoisien, la falaise qui couronne le plateau repose sur des sables roux (Sm fig. 118), comporte une nappe de brèches basaltiques (Br fig. 118), formant la base de la barre rocheuse puis de tufs (t fig. 118) et enfin des coulées qui se raccordent au plateau de La Roche (B fig. 118). Le second remplissage (V2 fig. 118) apparaît en contrebas du premier, plaqué tantôt sur les argiles sannoisiennes, tantôt sur les sables roux. En fait les coulées basaltiques qui semblent couronner le premier remplissage villafranchien, sont postérieures au second car, en amont du Dolaizon, en contre-bas du hameau de La Roche, les coulées de basalte s'infléchissent et viennent reposer sur les sédiments du second remblaiement (P. BOUT 1960). La majeure partie des basaltes du plateau du Devès est ici postérieure au second remblaiement. Toutefois, au Crozas, les niveaux de base de celui-ci sont riches en granules d'andésites comparables à celles que l'on rencontre au Nord de la route 589 près du Mont Rose. Certaines coulées s'intercalent donc entre le premier et le second remplissage.



Coupe du Vallon de Dolaison au Crozas
(d'après P. BOUT 1893)

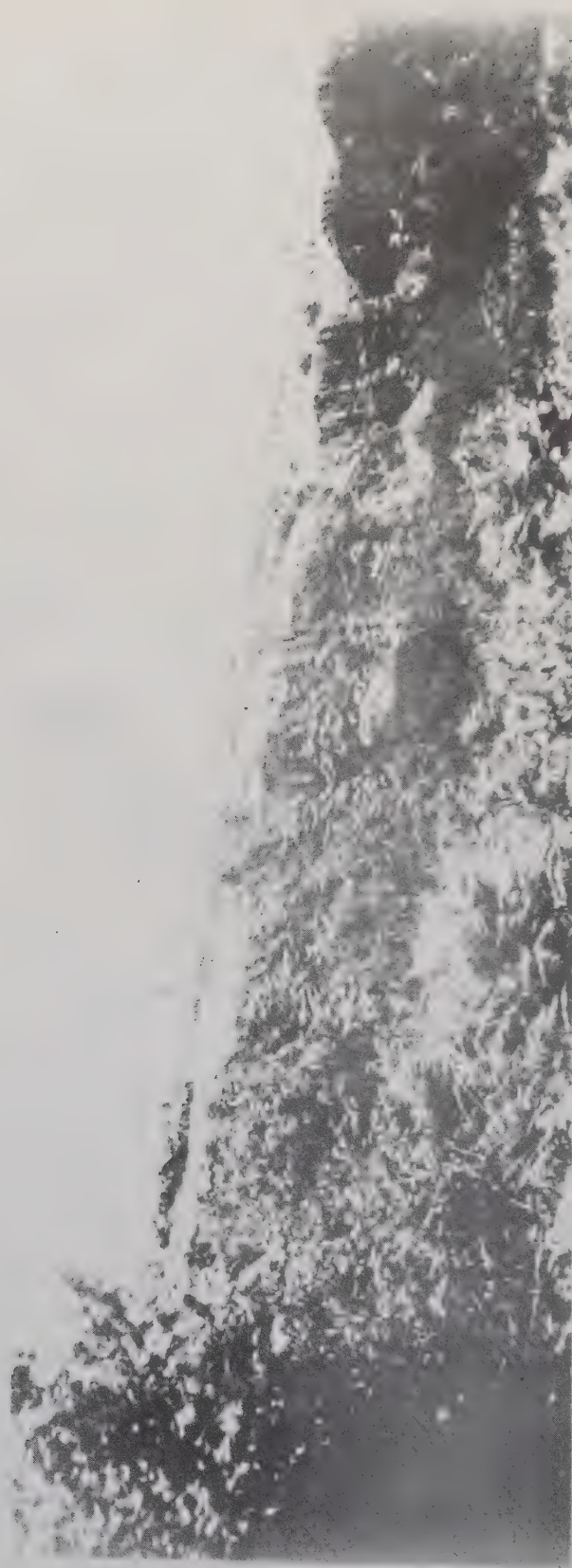


Photo n° 13 - La nappe de brèches basanitiques. et
sa couverture basaltique sur la rive gauche
du ravin du Dolaizon - en'amont du Crozas -

Les sites B1, B2, B3, B4 portés sur la fig. (117) situés à des altitudes croissantes proviennent des formations volcaniques qui surplombent la vallée du Dolaizon comme le montre les photos (6) et (13)

Le site B1 correspond aux brèches basaltiques intercalées dans la série des sables à Mastodontes du premier remblaiement villafranchien. La photo (13) montre l'aspect de cet affleurement : il est à aimantation inverse (Chapitre I, fig. 48).

Les niveaux B2, B3 et B4 sont localisés sur trois coulées qui forment le soubassement du plateau de La Roche entre 845 m et 865 m. Le niveau B2 est encore à aimantation inverse et sa direction d'aimantation est très proche de celles des brèches basanitiques. Par contre les coulées B3 et B4 ont une aimantation normale caractéristique. Ces coulées sont séparées par des niveaux d'argiles rouges. Signalons que le niveau B3 forme des coulées lenticulaires à la base de la coulée B4. La coulée B4 (Chapitre I, fig. 12), à aimantation normale, semble se rattacher aux coulées à aimantation normale qui descendent du hameau de La Roche pour venir recouvrir les formations du second remplissage villafranchien.

2) Le versant Nord-Ouest du Mont Rose : une coupe le long de la N 589.

Le premier site (A1) de prélèvements correspond à la coulée d'andésites qui surmonte les dépôts sannoisiens au Nord du Mont-Rose à 755 m d'altitude. L'aimantation est inverse (chapitre I fig. 47).

Les sites A2, A3 et A4 sont situés dans une petite carrière ouverte au Nord de la route à 760 m. Cette carrière semble recouper une structure complexe. Sur une coulée de base repose, au Sud, une nappe basaltique tandis qu'au Nord un dyke franc semble recouper la série. La coulée inférieure représentée par les échantillons 66 V 18 (7, 8 et 9) (site A3 fig. 43 Chapitre I) est à

aimantation inverse, tandis que la coulée supérieure représentée par les échantillons 66 V 18, (4, 5 et 6) (site A2 Chapitre I fig. 52) est à aimantation normale. L'interprétation des aimantations est très délicate, les aimantations visqueuses jouant un rôle important, pour le site A4 (fig. 46 Chapitre I) correspondant au dyke de basalte dont l'aimantation semble inverse.

Le site A5 correspond à une coulée, à l'Ouest du Mont-Croustet, il surplombe un niveau d'eau particulièrement visible au Sud de la route à 780 m. Là encore nous trouvons des directions d'aimantation instables et très difficiles à interpréter (fig. 54, Chapitre I). Il nous semble logique de les raccorder au dyke du site A4.

En résumé le long de la nationale 589, au Nord du Mont-Croustet, la série qui débute par des andésites à aimantation inverse est complétée par des basaltes dont l'aimantation est successivement inverse, normale, inverse. Ce dernier épisode inverse étant fort douteux.

Remarque : Signalons que la coulée (site C) qui souligne à 900 m le sommet du ruisseau qui coule à l'Est du village de Cordesse porte une aimantation normale.

3) Conclusion :

Les sites A s'échelonnent entre 755 et 780 m, les sites B entre 845 m et 870 m tandis que le site C se situe à 900 m. Ces coulées de basalte couronnent les sables à Mastodontes du premier remplissage villafranchien dans lesquels s'intercalent, en amont du ravin de Ceyssac, des niveaux argileux qui ont livré une macroflore étudiée par GRANGEON (1951) et, où FLORSCHUTZ a pu établir des diagrammes polliniques rapportés par BOUT (1963) (page 84 et planche 7). Au Sud-Est de la coupe B, les niveaux du Crozas qui correspondent à la base du second remblaiement, renferment des grains d'andésite, comparables aux andésites du site A1 à aimantation inverse. Ils ont livré une faune étudiée par BOULE et BOUT

qui comprend Mastodon arvernensis, Equus stenorionis, Tapirus arvernensis et un Elephas de type archaïque. Ces dépôts sont contemporains de ceux de St-Vidal et de Roche Lambert où FLORSCHUTZ a défini des diagrammes polliniques (BOUT - 1963 , page 87 et planches 9 et 10). En amont du Crozas, ce second remplissage est recouvert par des coulées se rattachant à la coulée B₄ à aimantation normale qui, à partir de La Roche, s'infléchit pour gagner la vallée du Do-laizon. A Roche Lambert les échantillons complémentaires que nous avons prélevés montrent que l'aimantation des basaltes qui recouvrent le second remblaiement villafranchien est aussi normale.

Si les brèches basanitiques du site B1 appartiennent bien au premier remplissage la coulée A1 s'intercale entre les deux remblaiements et la coulée B4 est postérieure au second. L'ensemble des sites A, B et C s'étage donc de la fin du premier remplissage villafranchien à la fin du second recouvrant ainsi tout le second remplissage. L'analyse de l'aimantation montre que les directions sont inverses à la partie supérieure du premier remplissage villafranchien et à la base du second remplissage. Une phase normale précède peut-être les coulées inverses qui le couronnent pendant cette deuxième époque sédimentaire. Le plateau est ensuite noyé par des nappes basaltiques terminales à aimantation normale.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux que ROCHE (1963) a obtenus à la Malouteyre et Sainzelle d'une part et dans le ravin de Fouragettes d'autre part. Il a mis en évidence à la Malouteyre l'existence de coulées à aimantation inverse dans la phase terminale du second remplissage villafranchien. Le volcanisme est en effet associé à des faunes comprenant Elephas meridionalis, Cervus, Equus stenorionis, Rhinoceros etruscus, Leptobos, Hyaena et Hippopotamus major. Au sommet du ravin des Fouragettes ROCHE a montré l'existence d'une superposition d'une coulée normale au-dessus de 8 coulées inverses. Or la coupe des Fouragettes est dans une position analogue à celle de la coupe B.

LOCALITE	COORDONNEES DU LIEU		Nbre Sites	Nbre Total Echan = N	DIRECTION DE L'AIMANTATION					TEST DE VISCOSITE		POSITION DU POLE			
	λ LATITUDE	φ LONG GREENWICH			I R	D R	R	K	β $\alpha 95$	DUREE EN JOURS	TAUX EN %	λ ρ φ ρ POLARITE	δ ρ δ		
A 1	45° 02' N	3° 51' E	1	3	-48°	178° W	2.999	1562	3°	30	12 - 50	74° N 177° 30' E	-	2° 30'	4
A 2	"	"	1	3	+51°	14° 30' W	2.985	132	11°	35 - 45	14 5 - 17	72° 30' N 138° W	+	10°	15
A 3	"	"	1	3	-62° 30'	179° E	2.991	214	8° 30'	35 - 45	3 - 4	88° 30' N 152° W	-	10° 30'	13
A 4	"	"	1	3	AIMANTATION ANORMALE					60 - 120	8 - 35				
A 5	"	"	1	4						30	20 - 47				
RESULTANTE A1 - A2 - A3	"	"	3	9	+54°	6° 30' W	2.974	233	86 9° 30' (1)			78° 30' N 148° 30' W	±	9° 30'	13°
B 1	"	"	1	3	-50° 30'	163° W	2.979	95	13°	25 - 35	3 - 15	71° N 134° 30' E	-	12°	17°
B 2	"	"	1	4	-56° 30'	157° W	3.992	365	5°	30 - 35	0.5 - 2	71° N 110° E	-	5° 30'	7°
B 3	"	"	1	2	+59° 30'	42° E	1.915	12	7	25 - 35	0.35 - 1	59° N 87° 30' E	+	12°	14°
B 4	"	"	1	3	+70° 30'	20° E	2.991	234	8°	35 - 55	2 - 3.5	74° N 50° E	+	12°	14°
RESULTANTE B1 - B2 - B4	"	"	3	10	+59°	20° E	2.967	184	75 10° (1)			74° 30' N 106° E	±	11° 30'	15°
RESULTANTE GENERALE A1 A2 A3 - B1 B2 B3	"	"	6	19	+57°	5° 30' E	5.888	204	49 8° 30' (1)			81° 30' N 151° E	±	9°	12°
C 1	45° 01' N	3° 48' E	1	2	+55°	16° W	1.992	255		30	15 - 2	74° 30' N 120° W	+		
D 1	44° 59' N	3° 42' 30" E	1	3	+67° 30'	38° 30' E	2.996	449	6°	35 - 60	4 - 5	64° N 67° 30' E	+	8° 30'	10°
D 2	44° 59' 30" N	3° 42' 30" E	1	2	+73°	2° 30' E	1.997	666		20 - 35	3 - 4	76° 30' N 86° 30' E	+		
D 3	44° 59' N	3° 42' E	1	3	+55° 30'	2° E	2.991	226	8° 30'	35 - 50	5 - 6	81° N 173° 30' E	+	8° 30'	12°
D 4	44° 59' 30" N	3° 42' E	1	3	-66° 30'	170° 30' W	2.994	315	7°	25	35 - 55	82° N 57° 30' E	-	10°	12°
D 5	44° 59' 30" N	3° 41' 30" E	1	3	+59° 30'	4° E	2.996	539	5° 30'	25 - 45	12 - 15	84° 30' N 149° E	+	6° 30'	8°
D 6	44° 59' 30" N	3° 41' 30" E	1	3	+68° 30'	23° 30' E	2.995	395	6° 30'	30 - 50	1 - 2	73° N 62° E	+	9° 30'	11°
E 1	45° N	3° 40' 30" E	1	3	-58° 30'	171° 30' W	2.995	390	6° 30'	30 - 50	18 - 50	82° N 132° 30' E	-	7°	10°
E 2	44° 59' 30" N	3° 40' 30" E	1	3	+49° 30'	16° 30' W	2.928	27	24°	30 - 40	1 - 4	70° 30' N 136° 30' W	+	21° 30'	32°
E 3	44° 59' 30" N	3° 40' 30" E	1	3	+52°	6° 30' E	2.996	555	5° 30'	30 - 50	6 - 18	76° 30' N 159° 30' E	+	5°	7°
RESULTANTE D1 - E3	44° 59' 30" N	3° 41' 30" E	9	26	+62°	6° 30' E	8.859	151	66 6° 30' (1)			85° N 113° E	±	8°	10°
F 1	44° 58' N	3° 39' E	1	3	-65°	151° 30' W	2.999	2105	2° 30'	18 - 40	2.5 - 11.5	70° N 77° E	-	3° 30'	4
F 2	"	3° 39' 30" E	1	3	-70°	149° W	2.973	73	14° 30'	20	1.5 - 6.5	68° N 57° 30' E	-	21° 30'	25
F 3	"	"	1	3	-41°	170° E	2.960	50	17° 30'	20 - 40	4 - 7	67° N 152° W	-	13°	21°
F 4	"	"	1	3	-56°	169° W	2.997	612	5°	20 - 50	1 - 2	78° N 136° E	-	5°	7°
F 5	"	"	1	2	-56°	177° 30' W	1.993	136		20	1	81° 30' N 170° E	-		
F 6.7	"	"	1	4	-43°	176° W	3.988	80	6°	25 - 45 [20]	3 - 8 [6]	70° N 173° E	-	4° 30'	7
F 8	"	"	1	4	-44°	168° W	3.989	273	5° 30'	40	1 - 2.5	68° 30' N 153° E	-	4° 30'	7
F 9	"	3° 40' E	1	2	-50° 30'	159° 30' W	1.995	201		40	2 - 11	69° N 127° E	-		
F 10	"	"	1	2	-45°	173° W	1.996	274		30 - 40	2 - 17	70° 30' N 164° 30' E	-		
F 11	"	"	1	2	-54° 30'	149° W	1.993	151		20	1.5 - 3.5	64° 30' N 105° E	-		
F 12	"	"	1	4	-65°	149° 30' W	3.978	138	8°	20 - 25	3 - 10	69° N 76° 30' E	-	10° 30'	13°
RESULTANTE F1 - F12	44° 58' N	3° 39' 30" E	11	32	-54° 30'	167° W	10.750	151	41 7° (1)			76° N 134° 30' E	-	7°	10°
RESULT. COULEES AIMANT NORMALE	45° N	3° 46' E	11	30	+61° 30'	5° 30' E	10.737	87	47 7° (1)			85° 30' N 121° 30' E	+	8° 30'	11°
RESULT COULEES AIMANT INVERSEE	45° N	3° 46' E	17	51	-55° 30'	168° W	16.678	178	53 5° (1)			77° N 134° 30' E	-	5°	7°
RESULTANTE GENERALE	45° N	3° 46' E	28	81	+58°	9° 30' E	27.367	130	49 4° (1)			80° 30' N 132° 30' E	±	4° 30'	6°

Tableau 1

Site	IR	DR	R	k	α 95
E ₄	+ 57°	21° 30 W	2,961	51	17°30
E ₅	+47°30	5° E	2,996	500	5°30
F ₁₃	-78°	82°30E	2,987	154	10°
F ₁₄	-60°30	158°30W	2,989	182	9°
F ₁₅	-71°30	171° W	2,978	91	12°

Tableau - I b

II) LE VERSANT OCCIDENTAL DE LA CHAÎNE DU DEVÈS.

Nous avons fait une étude détaillée des affleurements que l'on rencontre le long de la Nationale 589 entre le village de Mont-Bonnet situé près du sommet du Devès et Monistrol d'Allier sur les bords de l'Allier. Nous distinguerons successivement trois séries.

1) La série de base, que nous appellerons série F, débute au-dessus du quartier de Grazaillies près de Monistrol d'Allier et s'étend jusqu'à St-Privat d'Allier. Elle commence par une épaisse coulée entre le plateau de Pratclaux-Lagueronne qui surplombe Monistrol d'Allier au Nord-Est et la voie ferrée qui serpente au fond de la vallée. Nous avons prélevé nos échantillons (site F1) dans la tranchée de la route, peu avant le pont de Grazaillies (Photo 14). Près des sources captées, cette coulée vient buter contre un niveau à galets reconnu par BOULE et que nous rapportons, de par sa parenté avec les sédiments du second remplissage villafranchien de St-Didier d'Allier et de La Prade, au second remplissage villafranchien. Cette coulée, qui comble un ancien ravin, recouvre en contrebas de la cote 653 du Pont de Grazaillies des coulées antérieures que nous avons aussi échantillonnées (site F2 et F3).

A partir de la cote 653 et en remontant en direction de St-Privat d'Allier nous trouvons une succession de coulées d'épaisseur variable, allant de quelques décimètres à plusieurs mètres comme le montre bien la photo 15 prise au point de départ du téléphérique qui transportait primitivement les cailloux de la carrière ouverte au-dessus du captage. Ces coulées masquent en les comblant les dépressions d'une morphologie ancienne comme le prouve l'affleurement de granite rencontré à une altitude élevée près des grottes creusées dans des scories sous basaltiques. L'empilement des coulées basaltiques se prolonge jusqu'à St-Privat d'Allier. Les coulées supérieures sont épaisses et prouvent l'existence d'un



Photo n° 15 - Versant Occidental du Devès
Série F - Site F 8.

Coulée correspondant au site F 8

volcanisme hawaïen puissant. Entre le quartier de Grazaillies et le pont des Gouttes situé en contrebas du hameau de la Planchette au Sud-Ouest de St-Privat d'Allier, tous les prélèvements que nous avons effectués sont à aimantation inverse. Dans notre précédente publication nous nous étions arrêtés à la cote 721 à mi-chemin entre Monistrol d'Allier et St-Privat d'Allier. Nous avons repris en 1969 et 1970 d'autres séries de prélèvements, en particulier en contrebas du Plateau de la Plaine, au Sud de St-Privat d'Allier, sur une épaisse coulée représentée sur la photo (16). Les coulées à aimantations inverses se terminent avec celle qui affleure au-dessus de la cote 815 au niveau de la source du Pont des Gouttes.

Toutes les coulées rencontrées entre 600 m (Monistrol d'Allier) et 870 m d'altitude (près de St-Privat d'Allier) sont à aimantation inverse. Les courbes de désaimantation montrent que les aimantations sont très dures et très caractéristiques. L'ensemble des résultats est consigné dans les tableaux IA et IB.

2) La série moyenne entre St-Privat d'Allier et la route de Loudes.

La D 30A, au sortir de St-Privat d'Allier, est bordée par une coulée qui forme une falaise. Cette coulée (site E5) à aimantation normale se raccorde aux coulées qui forment le substratum du cimetière de St-Privat qui sont elles aussi (site E4) à aimantation normale. Cette nappe de basalte rejoint les coulées à aimantation normale, que l'on retrouve au Nord du Ruisseau de Rouchoux peu après le Pont du Diable de la cote 895, et que nous avons déjà étudiés (sites E2, E3 in C. BOBIER 1969 et Chapitre I fig. 8 et 9). A ce niveau ces formations à aimantation normale surmontent une épaisse série de scories dans laquelle a été trouvée la faune célèbre de St-Privat d'Allier.

Nous avons montré que le plateau (culminant à 940 - 945 m) qui supporte la route qui part de la D 589 au Nord de Villars et rejoint Loudes, est à aimantation inverse (site E1, Chapitre I fig. 10 - 11).



Photo n° 16 - Versant occidental du Devès.
Série F - Coulée correspondant
au site F₁₄.

3) La série supérieure entre Le Chier et Montbonnet.

Nous retrouvons des coulées à aimantation normale à partir des hameaux du Villars et de Dallas (sites D5, D6) jusqu'à 1080 m à l'Ouest du hameau du Chier. A ce niveau là apparaît, entre deux niveaux d'argiles rouges, une coulée à aimantation inverse (site D4) qui supporte la coulée du plateau Fontoubette, culminant à la cote 1138 m, dont l'aimantation est normale (site D3). De la cote 1138 m jusqu'au col de la Pierre Plantée à 1144m où la route enjambe le grand accident jalonné de cônes de scories, nous n'avons pu trouver que des aimantations normales (sites D2 et D1). En particulier, dans une carrière de scories, près de la cote 1131 à l'Ouest du Col de la Pierre Plantée nous avons étudié un dyke qui traversant toutes les scories correspond aux éruptions de la chaîne du Devès.

4) En résumé :

Entre Monistrol d'Allier et St-Privat d'Allier affleure une série de coulées basaltiques à aimantation inverse ennoyant une ancienne vallée dans laquelle nous rencontrons encore des lambeaux appartenant au second remplissage villafranchien. La coulée qui forme la falaise bordant St-Privat d'Allier au Nord est la première coulée à aimantation normale, elle se raccorde aux coulées du Pont du Diable qui surplombent les scories où l'on a trouvé la faune de St-Privat caractéristique de la partie terminale du second remplissage villafranchien avec Rhinoceros leptorhinus, Hyaena, Cervus et Leptobos (BOUT 1963). Ces coulées à aimantation normale sont surmontées par une coulée à aimantation inverse qui forme le plateau sur lequel circule la route qui va de St-Privat à Loudes. Enfin, la coupe D montre l'existence d'un nouveau niveau à aimantation inverse intercalé dans une série normale qui se prolonge jusqu'au sommet de la chaîne du Devès.

III) CORRELATIONS ENTRE LES DEUX VERSANTS, ESSAI DE CHRONOLOGIE ABSOLUE.

Le Massif du Devès peut, dans ses grandes lignes, être résumé de la façon suivante :

Le soubassement du Massif du Devès est constitué soit par des granites, soit par des formations lacustres appartenant à un premier épisode de comblement d'âge villafranchien. Dans la partie supérieure de ces formations s'intercalent des formations à aimantation inverse. Les éruptions à aimantation inverse se prolongent pendant la période de transition entre le premier et un second remplissage marqué par des dépôts lacustres fins sur le versant oriental et des dépôts fluviatiles sur le versant occidental. Les laves contemporaines de ce second remblaiement portent des aimantations inverses pour la majeure partie. Toutefois il n'est pas exclu qu'un épisode normal s'intercale dans cette série inverse. La mise en place des grandes coulées qui donnent naissance aux plateaux du Devès se fait pendant les périodes de champ géomagnétique normal. Toutefois deux intercalations inverses découpent cette série.

D'après R. LETOLLE (1968) "La base du Villafranchien ne doit pas être beaucoup plus ancienne que 2,5 millions d'années et ne semble guère devoir être rajeunie de plus d'un million d'années". Les données paléomagnétiques confirment cette conclusion. En effet le nombre des coulées à aimantation inverse mises à jour avant et pendant le second remplissage villafranchien nous incitent à penser que cette phase de sédimentation lacustre est contemporaine de la période de MATUYAMA qui d'après COX et DOELL, (COX 1969) s'échelonne de 2,43 à 0,69 millions d'années

. Les coulées E2, E3 et D4 à aimantation normale intercalées dans une série inverse correspondraient à certaines périodes de champ normal qui découpent l'époque inverse de Matuyama à savoir :

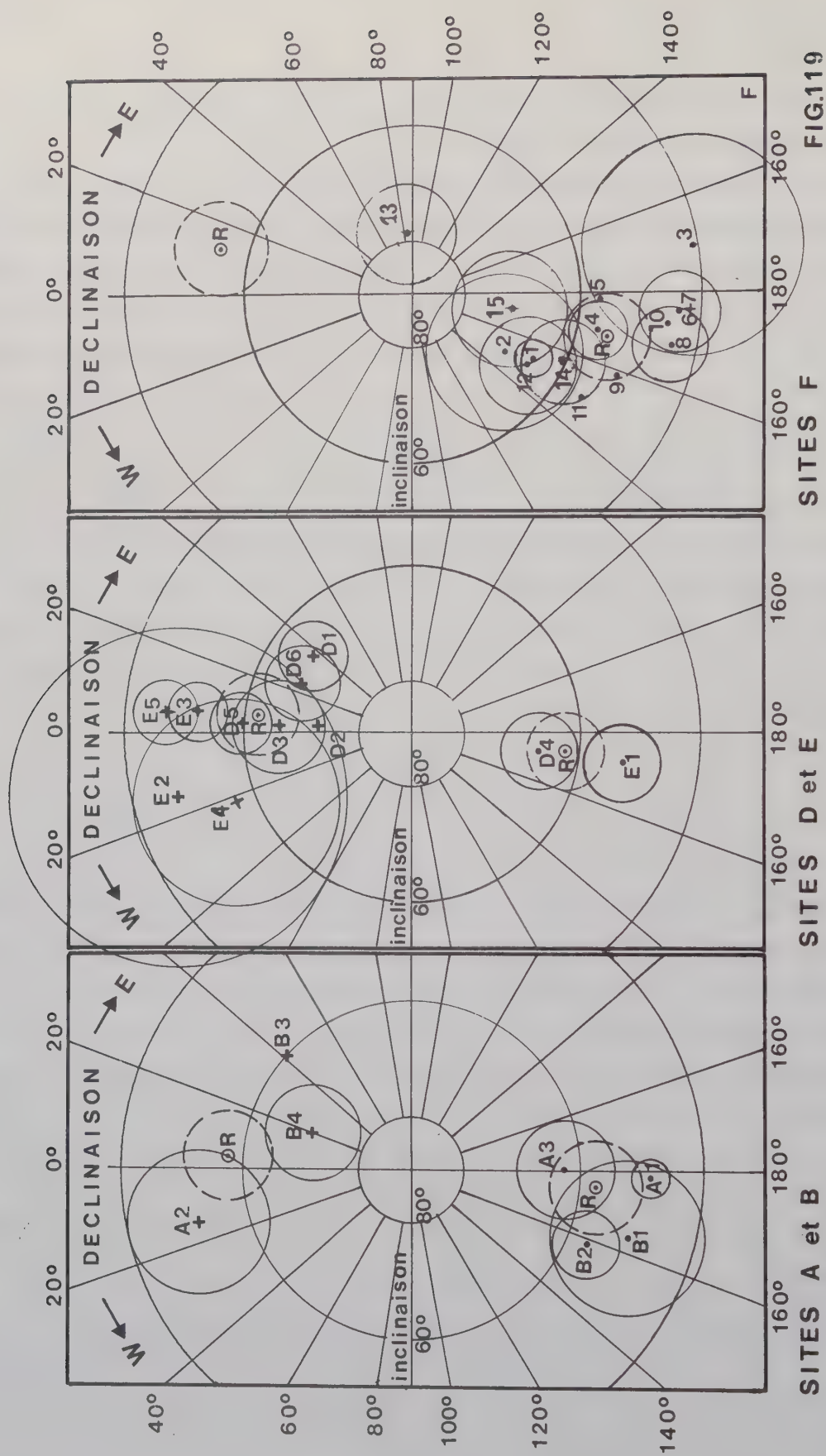


FIG.119

SITES F

SITES D et E

SITES A et B

- Les deux évènements d'Olduvaï* (compris entre 1,95 1,98 et 2,11 2,13 M.A.). (= "événements de la réunion" (d'après GROMME et al.).

- Deux évènements Gilsa* (1,79 1,64 et 1,61 1,63 M.A.) ou l'évènement Jaramillo (0,95 0,89 M.A.). Il faut remarquer la présence dans la série à aimantation normale de St-Privat de Rhinoceros leptorhinus que l'on retrouve à Valros dans l'Hérault sous une coulée à aimantation normale datée de 1,4 M.A. mais qui doit correspondre d'après son magnétisme à Gilsa supérieur 1,6 M.A. Nous pensons que les niveaux E_2 E_3 E_4 E_5 ont au moins 1,6 M.A. Ces coulées se situeraient donc, soit pendant les évènements de Gilsa*, soit pendant ceux d'Olduvaï*. Comme cette coulée est postérieure à des sédiments correspondant à des niveaux qui d'après BOUT contiennent des flores de type tiglien et prétinglien et tenant compte de la discussion sur la position du Prétinglien faite par L. GLANGEAUD et Coll. (1965) nous les avons raccordés provisoirement à la période Olduvaï*, (C. BOBIER 1969). Les coulées D3 et D6 devenaient ainsi contemporaines de Gilsa* ou plus probablement de Jaramillo, les coulées D3 et D1 qui couronnent le plateau du Devès se situant dans l'époque de Jaramillo ou dans l'époque normale de Brunhes soit au voisinage 1 million d'années ou 0,7 million d'années.

Mais plus récemment A. BRUN a établi des corrélations entre le Massif du Sancy et le Velay (A. BRUN 1970). Elle arrive à considérer que le second remplissage Villafranchein se situe au voisinage de Gilsa*. Nous devons donc considérer que les coulées E_3 à E_5 qui correspondent à la partie terminale de ce remplissage, se situent au voisinage de Gilsa*.

C'est pourquoi nous pensons plus probable que les coulées E_2 E_5 correspondent à l'épisode Gilsa* soit entre 1,61 M.A. et 1,79 M.A. Il est délicat de préciser à quelle phase de l'épisode Gilsa* elles correspondent. Toutefois il faut noter que la coulée E_1 à aimantation inverse supporte une surface d'érosion très

* C.S. GROMME et al (1970) ont discuté de la dénomination et des limites des épisodes Gilsa et Olduvaï. Pour ces auteurs le terme Episodes de la Réunion doit remplacer le terme Olduvaï qui doit être réservé au second épisode Gilsa voire au deux épisodes Gilsa-Olduvaï oscillant entre les limites extrêmes (1.86 à 1.71 MA) ou (1.80 à 1.60 MA).

visible au départ de la route de Loudes. Cette surface pourrait donc correspondre à l'érosion glaciaire du Gunz II et pourrait dater du début de la phase à aimantation inverse qui sépare les épisodes Gilsa et Jaramillo*. Les coulées normales D5 et D6 correspondraient alors à l'épisode Jaramillo, la coulée inverse D4 se situant au Matuyama supérieur, le volcanisme terminal se plaçant dans l'époque de Brunhes.

Les coulées F se seraient mises en place entre les épisodes Gilsa et Olduvaï**.

Sur le versant oriental du Devès les coulées normales B3 B4 et C se situent entre 850 et 900 m comme les coulées E2 E5. On peut donc les considérer comme contemporaines de Gilsa.***

Par contre la coulée A1 intercalée entre le premier et le deuxième remplissage, se situerait au voisinage de 2 M.A. soit entre les deux épisodes d'Olduvaï. La coulée A3 pourrait correspondre au second épisode d'Olduvaï tandis que les coulées A2 A4 A5 B2 qui courent le second remplissage, correspondraient aux coulées F se situant ainsi entre Olduvaï et Gilsa**. Nous voyons qu'il est ainsi possible de faire une synthèse cohérente du Devès qui devrait être confirmée par des datations.

Remarque : C.S. GROMME et al. (1970) ont rediscuté de la position exacte dans le temps de l'épisode Olduvaï tel qu'il avait été défini dans le site de "Olduvaï". Ils arrivent à la conclusion que le terme Olduvaï doit être réservé à ce qui correspondait à la phase normale la plus ancienne de l'épisode Gilsa telle qu'elle avait été définie par Cox (1969) où à l'ensemble appelé Gilsa par Cox (1969). Le terme de "événements de la Réunion" devant remplacer le terme de "Olduvaï" dans l'échelle définie par Cox (1969).

Ce changement ne correspond, pour l'essentiel, qu'à un changement de dénomination, la position des épisodes dans le temps étant peu ou pas modifiée.

Dans ce qui suit, nous conserverons donc les termes "Gilsa et Olduvaï" correspondant à l'échelle de Cox (1969) et nous rappellerons en note infrapaginale la correspondance dans l'échelle de GROMME (1970).

-
- * : D'après la dénomination suggérée par GROMME et al. (1970); il faudrait dire entre Gilsa et Jaramillo si Olduvaï correspond seulement à la première phase de Gilsa définie par Cox (1969) ou Olduvaï et Jaramillo si ce terme Gilsa doit être abandonné.
- ** : Entre les épisodes Olduvaï et la Réunion d'après GROMME et al. (1970).
- *** : = Episode Olduvaï dans la dénomination de GROMME et al. (1970)

LE MASSIF DU SANCY ET SES ABORDS.

INTRODUCTION : Le cadre de notre travail.

APERÇU HISTORIQUE :

Depuis 1943 L. GLANGEAUD a souligné l'intérêt que présentait pour la géodynamique l'étude de cette région. On peut y analyser, dans un espace limité, des phénomènes géodynamiques complexes, telle l'évolution des magmas et leur hybridation ou la pétrogénèse profonde.

Faire la liste complète des travaux géologiques dont le Sancy a fait l'objet sortirait du cadre de notre exposé et nous renverrons le lecteur désireux de trouver une bibliographie complète à des ouvrages récents : R. BROUSSE (1960), L. GLANGEAUD et al. (1965), R. LETOLLE (1967). Pour l'aspect géologique et pétrographique nous dirons simplement que l'interprétation géologique du massif du Sancy a retenu l'intérêt de quelques grands esprits de la géologie française. Nous citerons : A. MICHEL-LEVY, A. LACROIX, Ph. GLANGEAUD et L. GLANGEAUD.

Si, dans ce travail centré sur l'application du paléomagnétisme à la géologie, nous pensons pouvoir éviter au lecteur une longue série de travaux purement géologiques, il serait inopportun de passer sous silence les principales recherches poursuivies sur l'aimantation des roches d'Auvergne. Ce silence serait impardonnable lorsque l'on sait que l'Auvergne est un peu le berceau du paléomagnétisme.

En effet, dès le début du siècle, BRUNHES (pour interpréter les anomalies du champ magnétique terrestre au voisinage du Puy de Dôme qu'il avait étudiées avec DAVID (1903)) s'intéressa aux propriétés magnétiques de la lave sous-jacente. Il montra (1905-1906) que :

- L'aimantation des dalles du Temple de Mercure était stable et n'avait pas été modifiée par leur déplacement intervenu

CARTE GEOLOGIQUE
DU MASSIF DU SANC

d'après L. GLANGEAUD et Coll.
1969

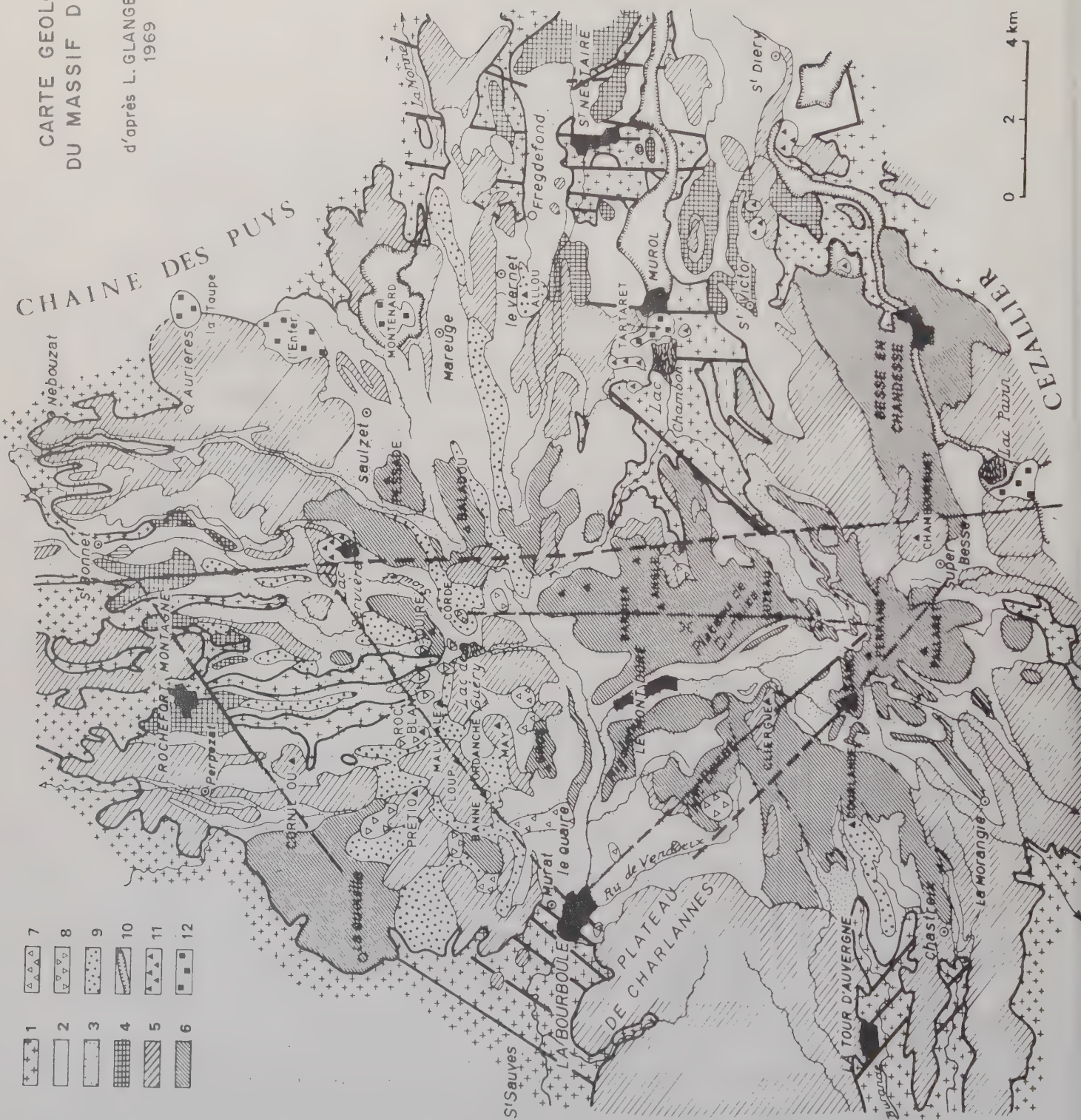


Fig. 120

Légende figure 120

Carte géologiques du Mont Dore

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. - Socle hercynien | 7. - Rhyolites |
| 2. - Sédimentaire oligo-miocène. | 8. - Phonolites post- |
| 3. - Projections (tephras) plio- | villafranchiennes |
| villafranchiennes. | 9. - Tephrites post- |
| 4. - Basaltes miocènes. | villafranchiennes |
| 5. - Basaltes plio-villafranchiens. | 10.- Basaltes. |
| 6. - Trachyandésites plio-villafranchiens. | 11.- Necks et dômes villa- |
| | franchiens. |
| | 12. -Cratère et dômes du |
| | Quaternaire supérieur. |

depuis 2000 ans.

- La lave de la coulée de Royat et les argiles cuites sous-jacentes avait même direction d'aimantation de sens normal.

- A Pontfavein (Cantal) laves et argiles cuites avaient la même direction d'aimantation mais de sens inverse.

- La domite du Clierzou avait une aimantation cohérente d'un échantillon à l'autre.

En 1929, JACQUET étudia 300 échantillons de lave et conclut qu'il existe rarement dans les roches volcaniques des ferromagnétiques purs mais que la présence de solutions solides variables est la règle.

En 1933, J. COULOMB a montré que l'aimantation moyenne doit être supérieure à celle des échantillons superficiels.

E. THELLIER (1938), analysant dans sa thèse l'aimantation des basaltes de Saint-Sauves, Murat et Saint-Flour a mis en évidence la présence dans ce dernier cas d'une aimantation inverse et démontra l'existence d'aimantation instable dans le basalte de Saint-Sauves. Il compléta, en 1944, ce travail en collaboration avec O. THELLIER en montrant que si l'aimantation des andésites du Puy de la Nugeyre avait une signification, celle du basalte de Châteaugay et celle d'un piton basaltique voisin du Puy de Chanaat n'en avaient pas.

En 1945, G. GRENET donna une série de résultats portant sur les roches quaternaires.

La première étude systématique a été réalisée par ROCHE (1950 - 1953 etc...). Nous reviendrons sur les résultats qu'il a obtenus en les incluant dans nos discussions.

Le présent travail représente l'état d'avancement du programme d'étude que nous avons entrepris depuis 1960 sous la direction du Professeur GLANGEAUD et qui a donné lieu à diverses publications : C. LEPVRIER (1962), C. BOBIER et C. LEPVRIER (1963), L. GLANGEAUD, P. DUMESNIL et M. VIGNERON (1965), M. VIGNERON (1965)

L. GLANGEAUD et al. (1965).

Enfin, nous signalerons que dans la chaîne des Puys, N. BONHOMMET et J. BABKINE (1966) ont mis en évidence une inversion récente du champ magnétique.

L'ESPRIT DU TRAVAIL ENTREPRIS :

Du fait de l'abondance des travaux, la stratigraphie relative du massif est bien connue. Elle correspond pour l'essentiel à celle qui était indiquée dans la 3ème édition de la carte géologique de Clermont au 1/80 000ème due à L. GLANGEAUD pour la région du Sancy. La fig. 120, d'après L. GLANGEAUD et coll. (1969), en donne une synthèse.

Le problème qui reste à résoudre est celui de la chronologie absolue des diverses éruptions. Nous n'avons donc pas travaillé dans le Massif du Sancy avec le même esprit que dans le Velay où nous étions préoccupés de stratigraphie relative. Ici, le paléomagnétisme intervient comme une méthode particulière au service d'un programme collectif qui fait intervenir des techniques complémentaires (Palynologie, radiochronologie, géochimie, etc...). De ce fait, notre exposé est conçu dans un esprit différent de celui adopté pour l'étude du Velay. Partant de l'ensemble des résultats acquis dans chacune des grandes unités morphologiques nous les confronterons aux conclusions déduites par d'autres méthodes.

Dans cet esprit, nous étudierons successivement :

- la fosse volcanotectonique : La Bourboule, Le Mont-Dore.
- Le versant oriental du Massif du Sancy.
- Conclusion générale : Essai de coordination des résultats.

Dans les deux zones que nous allons évoquer, nous donnerons d'abord les résultats nouveaux que nous apportons et nous rappellerons les résultats obtenus par d'autres auteurs.

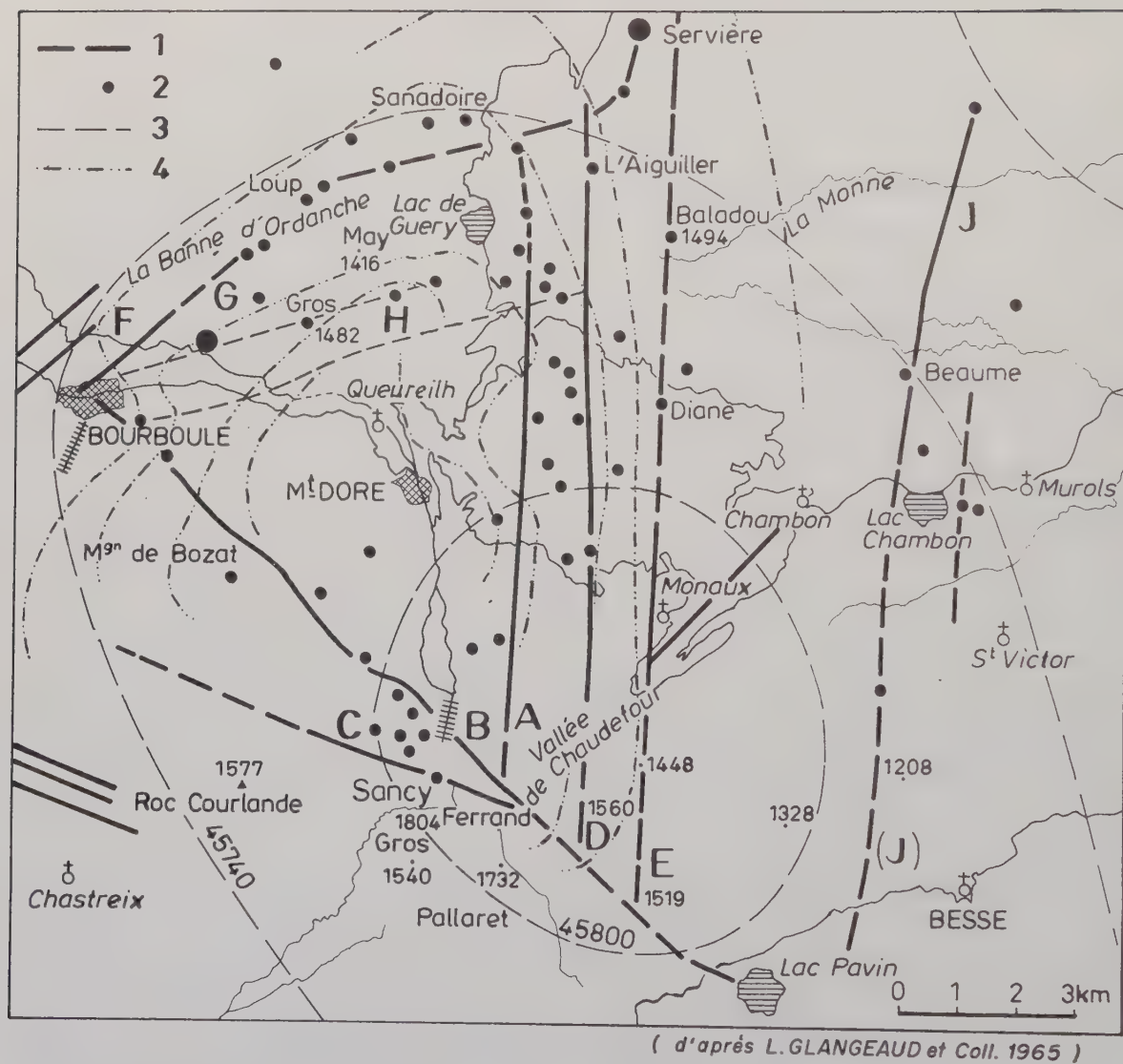
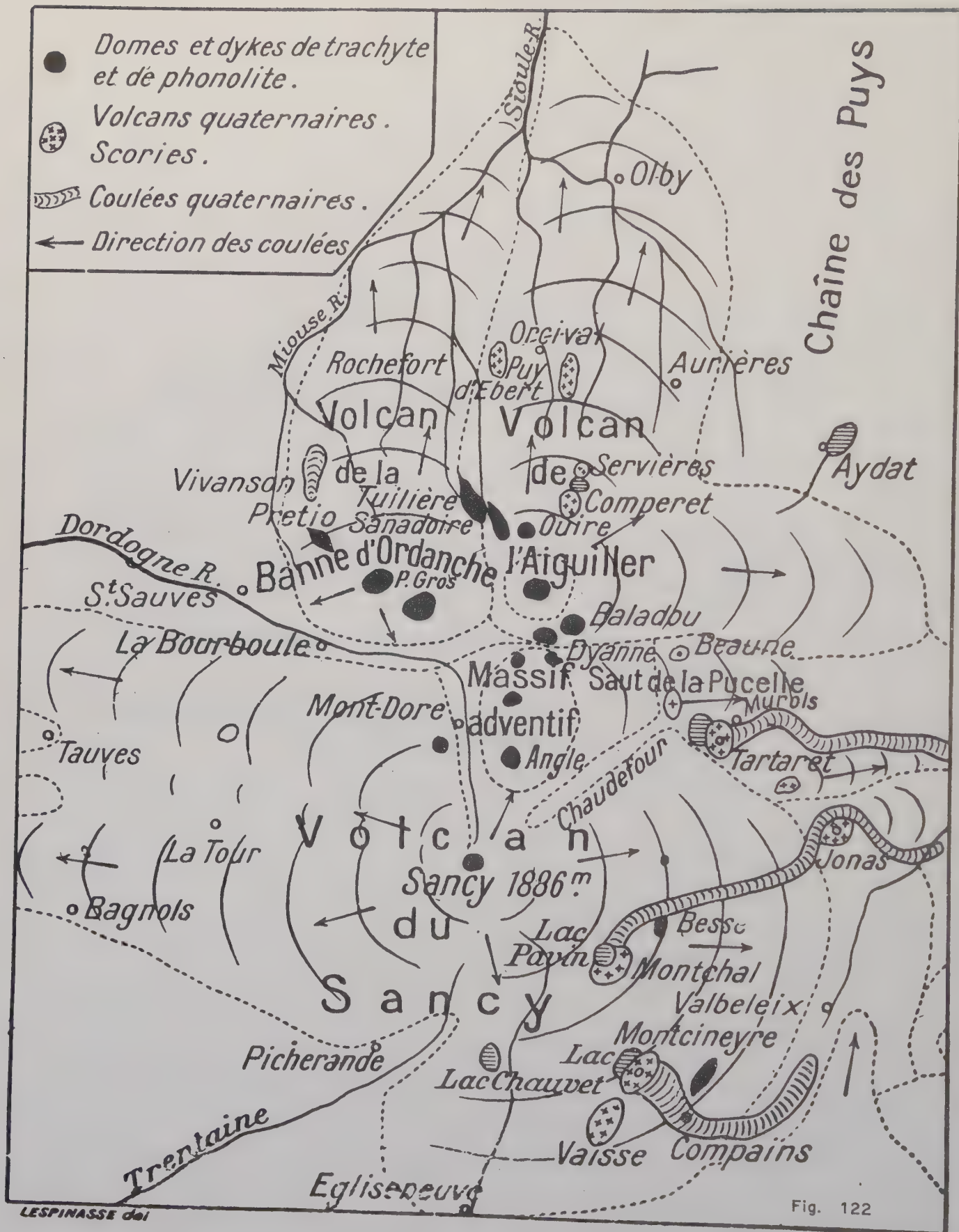


Fig. 121

Légende figure n° 121

Structures volcanotectoniques dans le Mont Dore.

1. - Principales failles définies par la gravimétrie et l'observation directe (traits pleins) ou supposées (tiretets), d'après les données volcanotectoniques.
2. - Principaux centres éruptifs en rapport avec ces dislocations.
3. - Courbes 45 740 et 45 800 reportées d'après la carte aéromagnétique de la France au 1 000 000e (agrandies à l'échelle de la figure 120).
4. - Courbes isograves.



A - LA FOSSE VOLCANO-TECTONIQUE DE LA BOURBOULE - LE MONT-DORE.

Située au point culminant de l'antéclise de la chaîne des Puys, cette fosse schématiquement triangulaire, est limitée par un certain nombre de failles comme l'ont montré L. GLANGEAUD et J.C. LEMONNIER (1958). L'ensemble a été ultérieurement précisé (fig. 121) par les données gravimétriques et magnétiques (L. GLANGEAUD et al., 1965).

Cette fosse est truffée d'édifices volcaniques variés dans lesquels Ph. GLANGEAUD (1909) a distingué les ensembles volcaniques suivants (fig. 122).

Au Sud : - Le volcan du Sancy qui constitue l'ossature du Massif. Il a été le siège d'un volcanisme essentiellement strombolien et vulcanien.

Au Nord : - Le volcan de la Banne d'Ordance qui a été le siège d'éruptions hawaïennes.

- Le Massif de l'Aiguillier qui correspond aussi à un dynamisme hawaïen.

Enfin : - Le Massif adventif, est le témoin d'éruptions péléennes plus récentes que les précédentes.

I) LE VOLCAN DU SANCY :

1) Nouvelles données :

Les prélèvements effectués dans les sites 30 à 31 bis et 39 à 76 localisés sur la fig. 123 nous ont permis d'obtenir l'ensemble des résultats consignés dans le tableau II_a. Ils appartiennent tous au volcan du Sancy. Nous devons ajouter à cet ensemble les prélèvements 68 DU 25 (7-9) (site 60 bis) qui proviennent de la coulée ³ de Courbange et les échantillons 67 CH 25 (5-7) (site 31 bis) qui proviennent de la coulée de basalte affleurant près du calvaire qui marque l'intersection entre la D 126 reliant

MASSIFS DU SANCY ET DE LA BANNE D'ORDANCHE

SITES DE PRELEVEMENTS (C. BOBIER)

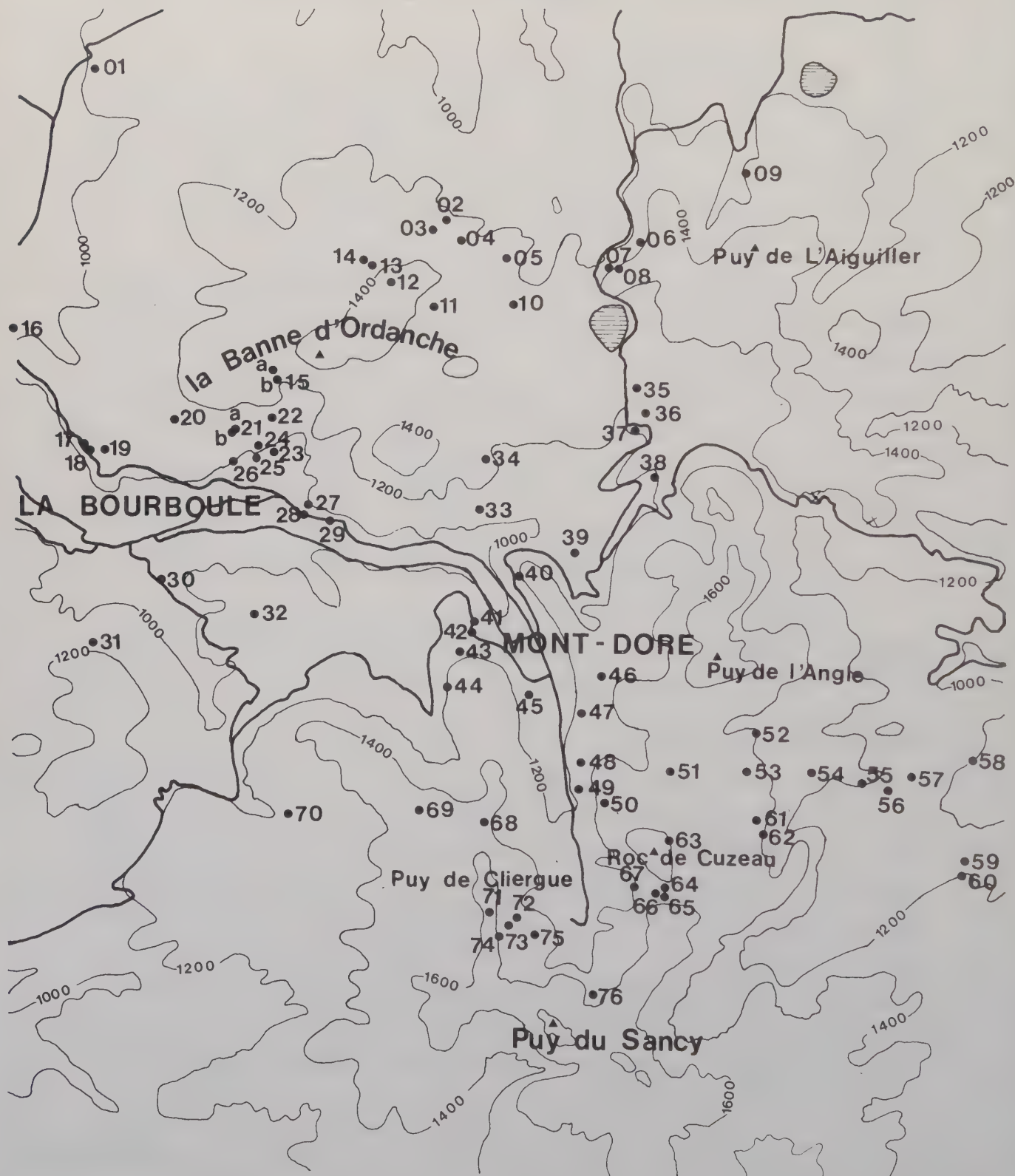
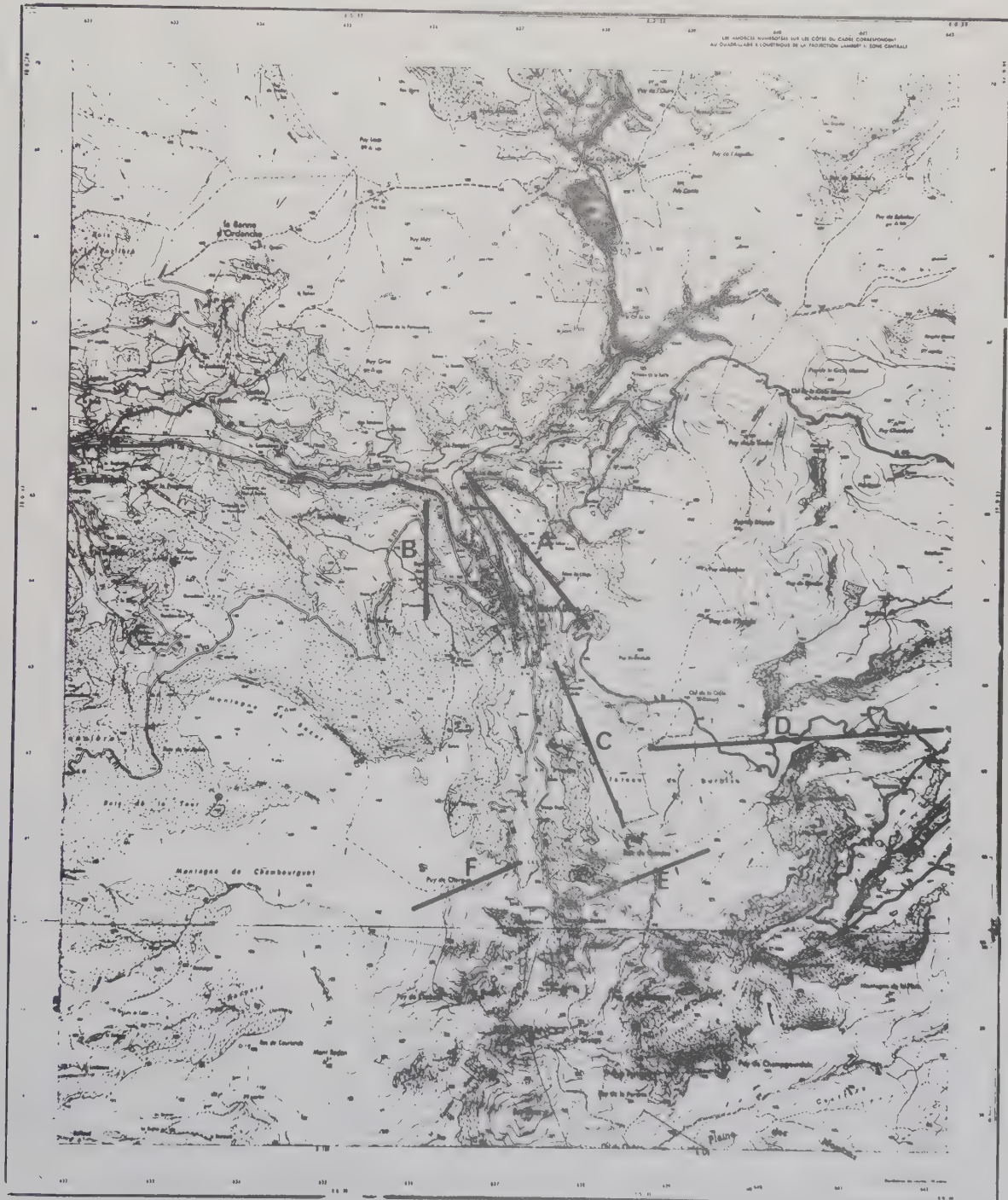


Fig. 123

- A - Série du plateau de l'Anole
- B - Série du Plateau des Rigolets hauts
- C - Série des Egravats et de la Grande cascade
- D - Série des Monaux
- E - Série du Col de Cuzeau et du Ravin des Edembouches
- F - Série du Clierque,



Position des séries volcaniques étudiées

Site	Altitude	I _R	D _R	R	k	α 95
30	910 m	- 74°30	137° W	3.94	52	13°
31	1146 m	- 35°30	175°30 W	2.89	19	28°30
31bis	1051 m	- 56°	173° W	2.99	784	4°30
32	1230 m	- 14°	72°30 W	2.93	32	22°
39 (1)	1090 m	- 76°30	150°30 W	2.98	179	9°30
41 (2)	1120 m	- 35°	149° W	5.78	23	14°
42 (3)	1100 m	+ 62°	42°30 E	4.91	47	11°30
43	1180 m	+ 75°30	11°30 W	3.98	184	7°
44 (4)	1190 m	+ 75°	39° E	6.98	570	2°30
45	1060 m	- 35°30	65° E	2.99	345	6°30
46	1325 m	+ 69°30	17°30 E	2.99	493	5°30
47	1230 m	+ 53°	5° E	2.99	439	6°
48	1400 m	+ 29°	4° W	2.99	263	7°30
50	1480 m	+ 60°	119° W	2.60	5	-
51 (5)	1465 m	+ 79°	59°30 E	8.89	74	6°
52	1360 m	- 7°	106° E	2.69	6	-
53	1350 m	Non	mesurable			
54	1330 m	+ 56°30	20°30 W	2.98	171	9°30
55	1230 m	+ 58°30	16°30 W	2.99	337	6°30
56 (6)	1130 m	+ 59°	12°30 W	4.97	147	6°30
57	1130 m	+ 56°	5°30 E	2.85	14	-
58	1100 m	+ 49°30	12°30	2.98	148	10°
59	1120 m	- 59°30	179°30 W	2.93	32	22°
60	1110 m	+ 63°	41° E	2.97	92	13°
61	1450 m	ARI	trop intenses			
62	1440 m	+ 60°	2°30 E	2.99	373	6°30
63	1560 m	+ 78°	17°30 W	2.97	70	15°
64	1650 m	+ 68°	24°30 W	2.99	532	5°30
65	1650 m	+ 65°	26° E	2.99	670	5°
66	1630 m	+ 55°30	12° W	2.99	212	8°30
67	1450 m	+ 46°	9°30 E	1.99	-	-
68 (7)	1480 m	+ 39°30	1°30 W	4.91	48	11°
69 (8)	1500 m	+ 33°30	180° W	4.54	8	26°
70	1250 m	- 70°	119°30 W	2.97	83	13°30
71	1670 m	+ 37°30	9°30 W	2.99	5541	1°30
72	1460 m	+ 64°	1° W	2.97	87	13°30
73	1570 m	+ 67°30	5°30 W	2.98	163	9°30
74	1640 m	+ 22°	6° E	1.87	-	-
75	1570 m	+ 65°30	7°30 W	2.97	81	14°
60bis	2 Cour- bange	+				

y compris les résultats antérieurs obtenus sur les sites :

(1) Q₁ VIGNERON 1965 - (2) LB₂ C. BOBIER, C. LEPVRIER 1963 - et T₁ M. VIGNERON 1965 - (3) T₂ M. VIGNERON 1965 (4) MO₁ M. VIGNERON 1965 - (5) LB₁₀ C. BOBIER, C. LEPVRIER 1963 - (6) MO₁ M. VIGNERON 1965 - (7) CL₁ M. VIGNERON 1965 - (8) BZ₁ M. VIGNERON 1965

Tableau IIa - Nouveaux résultats dans le Massif du Sancy

Auteur	Site	I _R	D _R	R	k	95
A. ROCHE 1953	AR ₁ = 51	{ + 50° + 52°30	{ 74° W 24° E }	Résultats bruts (1)		
	AR ₂ 80	+ 50°	40° W	0.99	-	- (1)
	AR ₃ 81	+ 70°	99° W	0.99	-	- (1)
C. LEPVRIER 1962	82	+ 78°30	1°30 E	4.96	117	7° (1)
	83	+ 67°30	25°30 W	3.81	16	23°30 (1)
C. LEPVRIER 1962 et C. BOBIER C. LEPVRIER 1963	84 (2)	+ 55°	24°30 E	4.74	16	19°30
	85 (3)	+ 48°	55° E	7.89	68	6°30
	86	+ 68°30	10° E	8.92	103	5° (1)
C. BOBIER C. LEPVRIER 1963	87	+ 64°	22° E	3.98	234	6° (1)
	88	- 52°30	151°30 E	2.94	37	20°30 (1)
	89	+ 67°	16°30 W	4.98	202	5°30 (1)
M. VIGNERON 1965	90	+ 57°	33°30 E	2.98	129	11°
	91	+ 51°	53° E	2.97	93	13°
	92	+ 66°	4° E	3.49	6	38°30
	93	+ 76°30	15° W	2.99	202	8°30
	94	+ 75°	5°30 E	1.99	-	-
	95	+ 58°30	5°30 E	1.99	-	-
	96	+ 63°	32° E	0.99	-	-
	97	+ 72°	45° E	0.99	-	-
	98	+ 53°30	36°30 E	1.99	-	-

(1) Sans lavage magnétique

(2) y compris résultats R₁ M. VIGNERON 1965

(3) y compris résultats G₁₋₂ M. VIGNERON 1965

Tableau IIb - Résultats antérieurs dans le Massif du Sancy

le Mont-Dore à la Bourboule et les routes qui vont à Liournat et à Charlannes.

2) Données anciennes : Tableau II_b

Cet inventaire des directions d'aimantation des roches du Massif du Sancy doit être complété en tenant compte des mesures publiées par A. ROCHE, C. LEPVRIER, M. VIGNERON et nous mêmes.

Les points de prélèvements sont portés sur la fig. 123

N.B. : Disposant des tableaux de mesures de C. LEPVRIER et M. VIGNERON nous avons pu dans certains cas en reprendre l'interprétation à la lumière de nos propres résultats.

3) Comparaison des données anciennes et nouvelles :

Sur plusieurs prélèvements effectués dans un même site il est intéressant de comparer les données obtenues par différents chercheurs sur différents appareils. Cela permet non seulement de contrôler la validité des mesures faites avec notre appareillage mais surtout de confirmer la validité des directions moyennes obtenues à partir de trois échantillons bien analysés.

a) Reconnaissance des grandes coulées :

$\propto$ - Andésites de la route de La Tour (sites
- 41 et 42).

Ces laves que J.C. LEMONNIER assimile à des pillow-lavas, qui semblaient homogènes, avaient montré (C. BOBIER et C. LEPVRIER, 1963) l'existence d'aimantations normale et inverse. M. VIGNERON en 1965 retrouvait le même résultat. Pour préciser la portion respective des venues inverses et des venues normales nous avons prélevé :

- d'une part (à 1100 m) dans les intrusions franches affleurant en face de la petite route ouverte récemment pour desservir une habitation (site 42),
- d'autre part dans une formation qui affleure 20 mètres plus haut (site 41) dans le virage de la route.

Nos résultats montrent clairement que certains affleurements ont une direction d'aimantation inverse (site 41, 1120m) et d'autres, une direction normale (site 42, 1100 m).

Si, avec J.C. LEMONNIER, nous admettons qu'il s'agit de pillow-lavas mis en place dans un sédiment meuble peu de temps

après son dépôt, on peut penser, étant donnée la proximité des affleurements, que l'épanchement de ces laves a eu lieu au voisinage d'une période de transition du champ géomagnétique. Les formations inverses seraient postérieures aux formations normales. Il n'en va pas obligatoirement de même si nous avons des intrusions de type sill. Dans ce cas l'âge relatif des intrusions ne peut pas être précisé. De toute façon, nous savons qu'il y a une inversion du champ géomagnétique après la mise en place des cinérites fines de la route de La Tour. Nous reviendrons plus loin sur ces considérations.

β) Les doréites de la carrière dite "des Moulins" site 44) et les doréites des Rigolets Hauts (site 43).

- M. VIGNERON et nous-mêmes avons prélevé dans la carrière des Moulins à deux ans d'intervalle. Nous avons porté sur un même diagramme (fig. 124) les résultats. Ils apparaissent identiques ce qui est un argument en faveur de la reproductibilité de nos résultats.

- Sur le diagramme précédent nous avons aussi transcrit les données obtenues à partir des prélèvements effectués à la bordure Sud du hameau des Rigolets-Hauts (site 43).

La divergence des résultats paraît caractéristique mais nous pensons que, comme pour les doréites de la carrière de Sarrevielle, l'écart rentre dans la dispersion que l'on peut enregistrer entre deux coulées très voisines dans le temps.

γ) La coulée de doréite du plateau de l'Angle.

La topographie semble montrer que les barres rocheuses qui limitent la vallée de la Dordogne à l'Est de la ville du Mont-Dore appartiennent à une seule et même coulée. Pour vérifier cette hypothèse nous avons reporté sur la figure 125 les données obtenues par C. LEPVRIER (C. BOBIER et C. LEPVRIER, 1963) et M.

DIRECTIONS D'AIMANTATION DES SITES 43 ET 44.

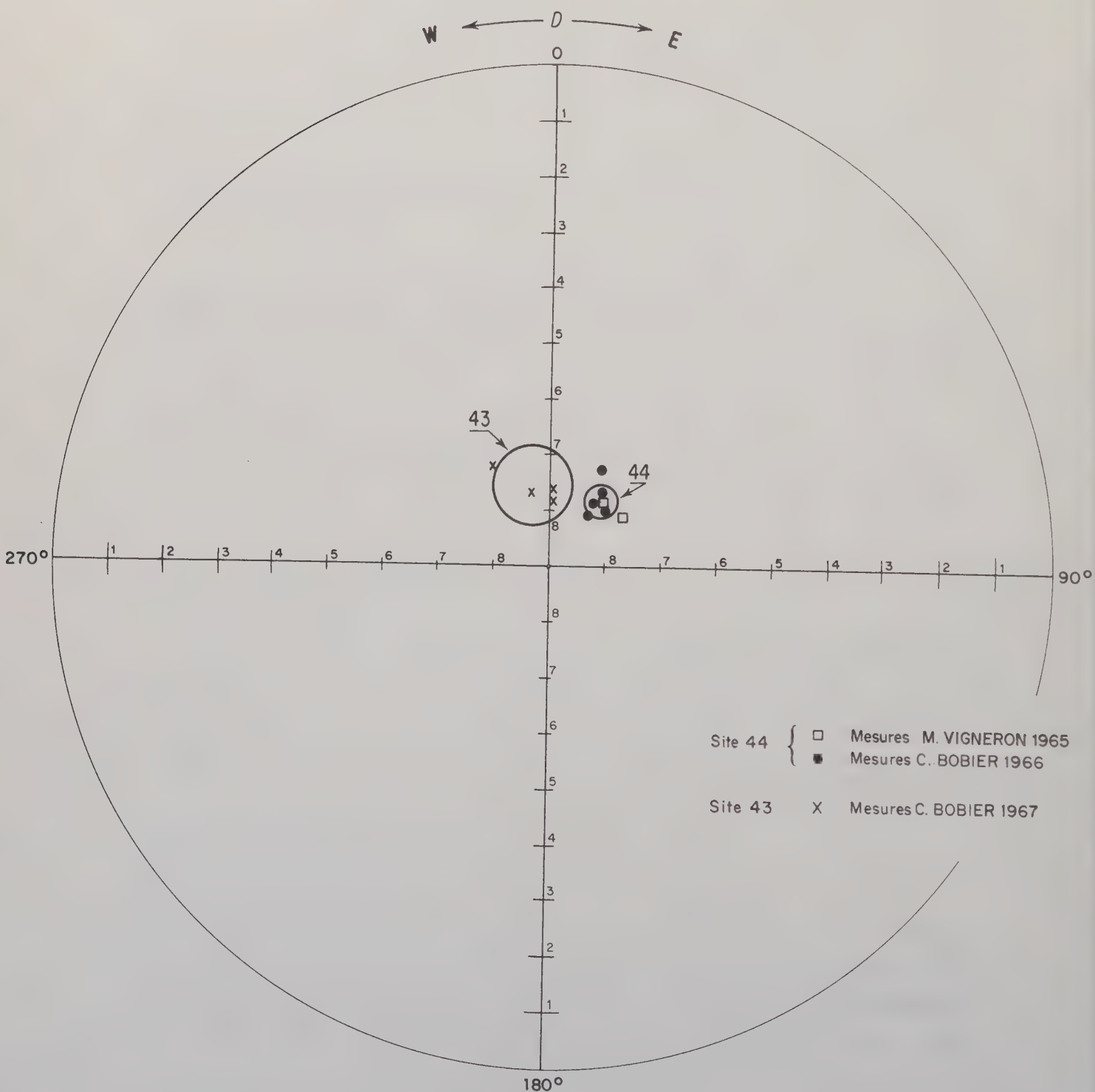


Fig. 124

DIRECTIONS D'AIMANTATION DES SITES 84_85_91_ DOREITES DU PLATEAU DE L'ANGLE.

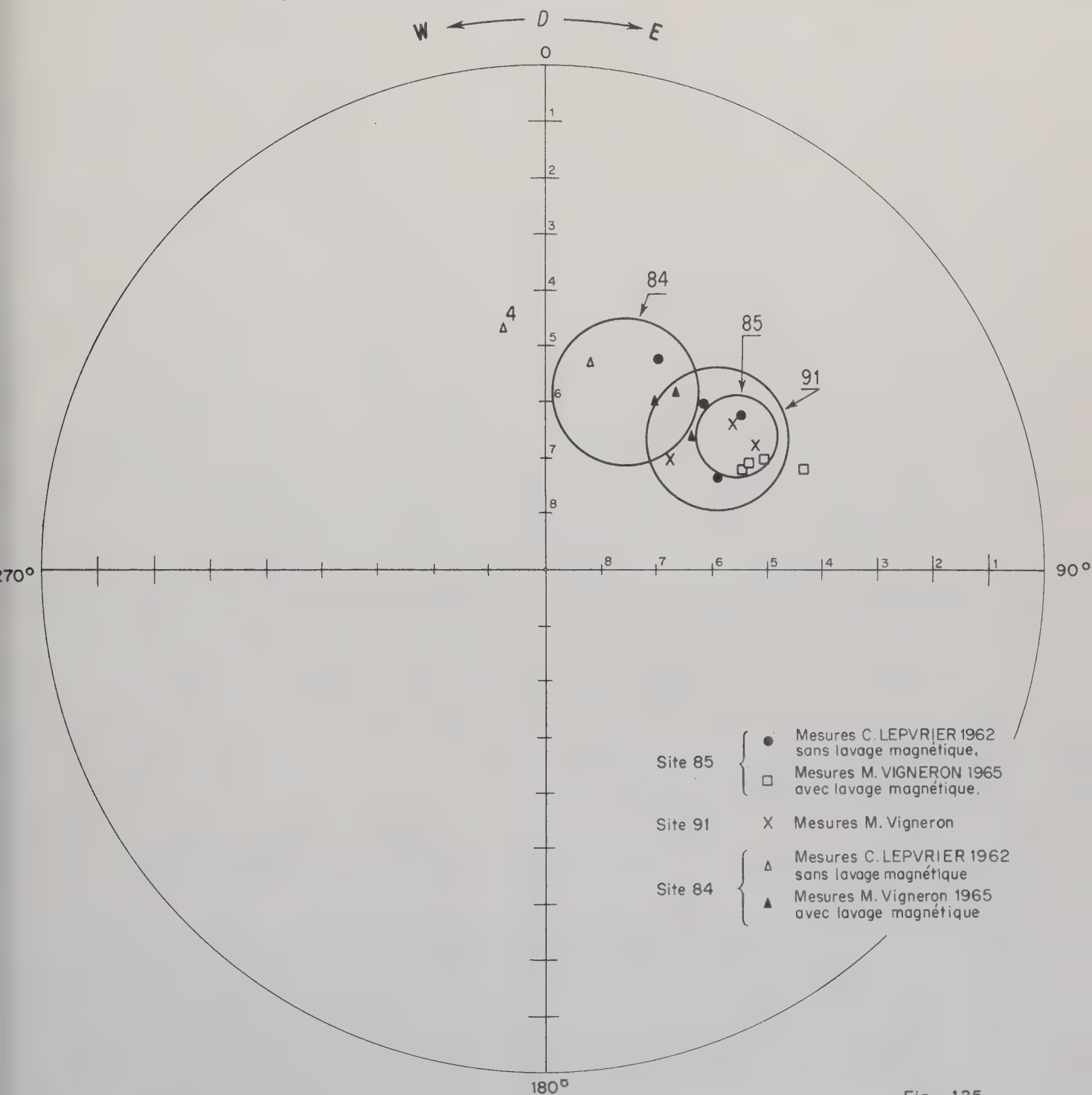


Fig. 125

VIGNERON (1965) qui ont prélevé l'un et l'autre d'une part dans la carrière de la route de Guery, (site 85 = G_{1-2}^*), d'autre part le long de la route de la Croix St-Robert (Site 84 = R_1^*). Nous avons rajouté les résultats obtenus par M. VIGNERON sur la coulée qui forme la cascade du Saut du Loup (site 91 = SL_1^*). Nous sommes frappés par la cohérence des résultats entre les sites 91 et 85. Les directions d'aimantation montrent bien que le plateau de l'Angle dans sa terminaison septentrionale est probablement dû à une seule et même coulée. Par contre, si l'on tient compte des directions obtenues dans le site 84 par C. LEPVRIER et M. VIGNERON la direction d'aimantation de ce site est légèrement différente. On pourrait en conclure que nous avons deux coulées différentes : une coulée pour les sites 85 et 91, une coulée pour le site 84. Toutefois les mesures de C. LEPVRIER sont entachées d'une erreur par défaut de lavage magnétique. Les mesures de M. VIGNERON, qui sont "lavées", donnent des directions cohérentes avec celles des autres sites. Nous pouvons donc valablement considérer que le plateau de l'Angle est couronné par une seule coulée de doréite.

8) La coulée de doréite allant du Roc de Cuzeau à la carrière de Sarrevielle. (Sites 51 et 63).

La figure 126 montre que ces sites correspondent sans doute à deux coulées très rapprochées dans le temps ou à une seule coulée. Les échantillons du site 51 étudiés en 1963 qui sont proches des échantillons mesurés en 1967 correspondent à ceux qui avaient été lavés thermiquement.

9) Extension de la coulée de trachyandésite des Monaux.

Là encore les directions d'aimantation des sites 54, 55 et 62 montrent que les formations étudiées appartiennent probablement à une seule coulée ou à deux coulées très rapprochées (Fig. 127).

* Numerotation M. VIGNERON 1965

DIRECTIONS D'AIMANTATION DES COULEES DE DOREITES ALLANT DU COL DE CUZEAU A LA CARRIERE DE SARREVIELLE.

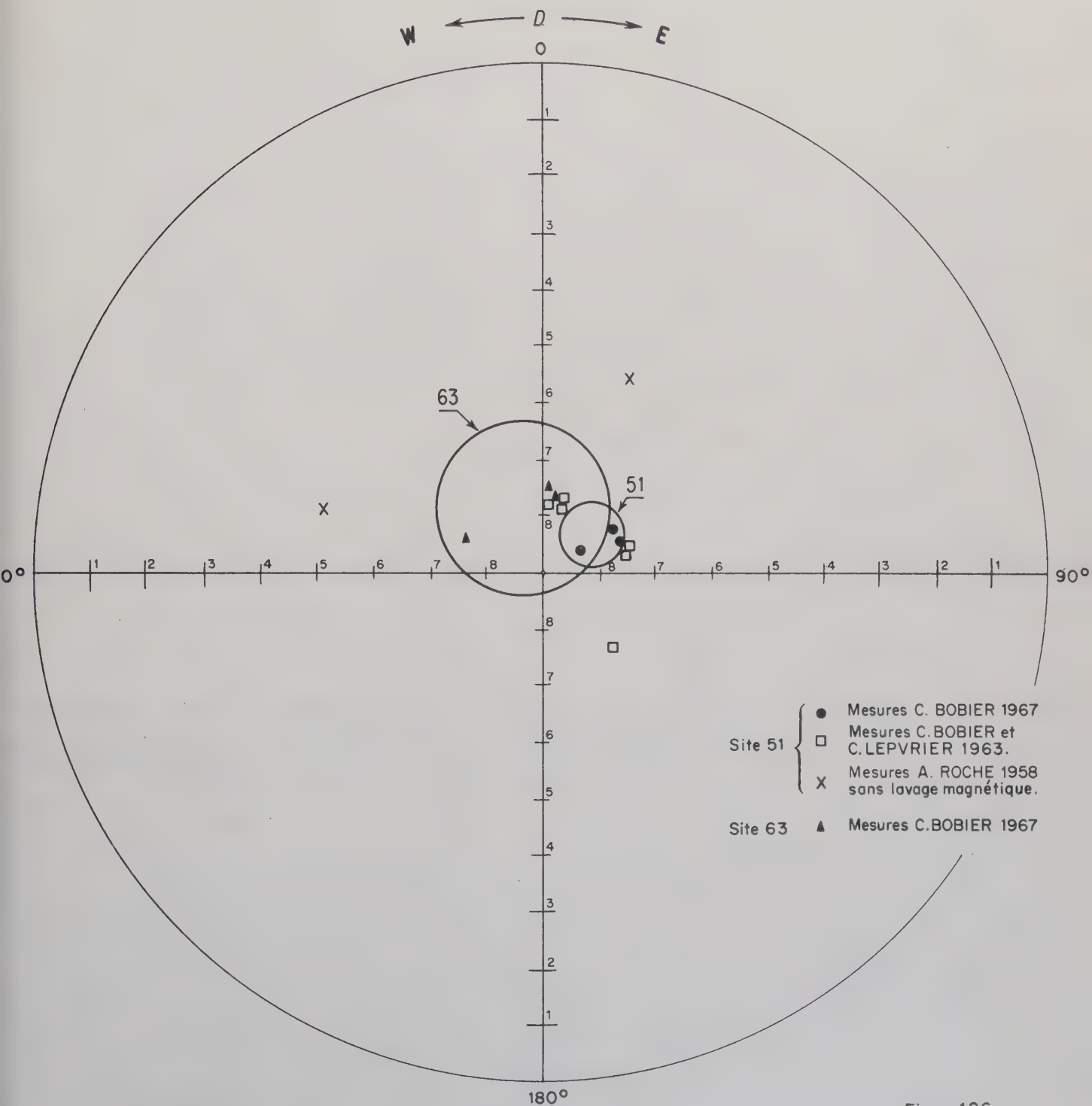


Fig. 126

DIRECTION D'AIMANTATION _SITES SANCYTES ENTRE ROC DE CUZEAU
ET LES MONAUX .

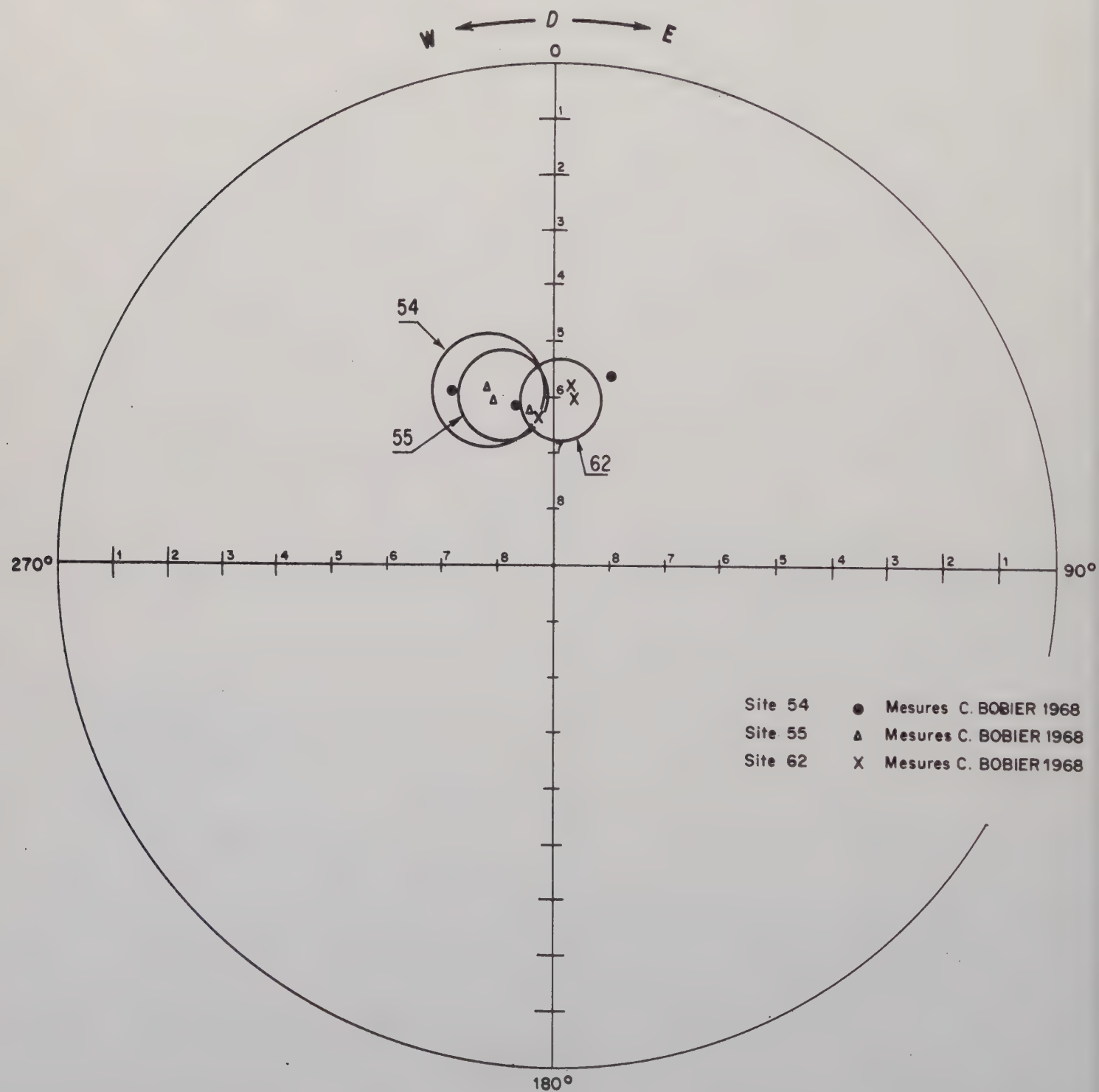


Fig. 127

b) Essai de stratigraphie

4) Remarques générales

Nous devons insister sur l'importance des aimantations normales

Ce fait confirme la remarque que faisait A. ROCHE qui soulignait en 1963 (observation de A. ROCHE à la note de C. BOBIER, C. LEPVRIER, 1963) :

"Un fait qui doit retenir l'attention : qu'on n'ait trouvé jusqu'ici que des aimantations positives, dans la ^{partie} centrale du Massif du Mont-Dore pour tous les niveaux classés à des âges s'étendant du Pliocène inférieur jusqu'au Villafranchien. Cette période s'étend sur plusieurs millions d'années et comporte certainement des intervalles où le champ magnétique a été de sens inversé. Une alternative vraisemblable serait que l'ensemble des formations considérées appartiennent à la même période à aimantation normale N_2 située au Villafranchien et précédant la dernière période à aimantation inversée I_1 du Villafranchien supérieur et Pléistocène inférieur."

Certes, nous savons depuis que le champ géomagnétique s'est inversé de nombreuses fois au cours du Villafranchien et nous verrons que le volcanisme du Sancy ne nous semble pas appartenir à la deuxième période de champ normal du Villafranchien. Il n'en reste pas moins que la majeure partie du Massif a dû se mettre en place soit dans un temps relativement court, soit de façon discontinu ~~edans~~ dans le temps.

L'importance de la dispersion entre les sites.

La combinaison des résultats obtenus pour l'ensemble des roches du Sancy nous donne comme direction de la résultante générale :

$$I = + 65^{\circ} 30 \quad D = 4^{\circ} 15' E \quad \alpha_{95} = 11^{\circ} 45'$$

Direction proche de celle du champ actuel. Mais le paramètre de précision entre les différents sites n'est que de 2,5 alors que le paramètre de précision moyen dans les sites est de 37. Cette dispersion entre les sites résulte sans doute des variations séculaires et millénaires du champ terrestre.

Les apports possibles du paléomagnétisme.

Les formations à aimantation inverse sont beaucoup trop discontinues * pour que le sens de l'aimantation permette d'établir, dans le Massif du Sancy, une stratigraphie relative significative en utilisant ce seul critère.

La direction de l'aimantation permet-elle de faire ce découpage ? A priori non, pour deux raisons.

- a) La grande dispersion observée dans l'ensemble des directions mesurées correspond cependant à celle que provoque la variation séculaire. De ce fait, deux coulées ayant même direction d'aimantation peuvent très bien avoir été mises en place à des périodes très différentes.
- b) La structure du massif est si complexe que la définition d'horizons est impossible.

Cela veut-il dire que le paléomagnétisme ne peut rien apporter dans le cas qui nous préoccupe. Nous ne le pensons pas. Mais, pour utiliser les résultats que nous avons, il faut quitter le mode de raisonnement du Géophysicien et utiliser la méthode de travail du Géologue. En particulier, nous devons tenir compte des données de la volcanologie et des données stratigraphiques obtenues par l'ensemble des méthodes géologiques. En s'appuyant sur ces éléments quels sont les arguments qui nous permettent d'utiliser les données paléomagnétiques.

Le Massif du Sancy n'est pas un volcan isolé. Son caractère complexe est la conséquence d'une évolution générale particulière qui aboutit à la formation de la Fosse volcano-tectonique de la Bourboule le Mont-Dore. Sur ce point tous les géologues sont d'accord même si, dans le détail, les modèles proposés diffèrent. La plupart des orifices de sortie de lave sont en relation étroite avec les accidents qui jalonnent la fosse. Or de tels accidents n'évoluent pas de façon continue. Il y a des époques de crises. L'émission de lave accompagne souvent ces époques de crise. L'existence de rythmes et de séquences volcaniques est

* Les formations à aimantation inverse sont peu nombreuses, occupent des surfaces limitées et ne peuvent en aucun cas constituer un niveau continu visible sur l'ensemble du volcan.

bien connue de tous les volcanologues. L'activité volcanique est plus ou moins discontinue dans le temps. Pendant les périodes d'activité il peut y avoir émission de plusieurs coulées de lave dans un temps très court.* Les laves, émises durant la même phase** d'activité, auront donc des directions d'aimantation très voisines les unes des autres, mais cette direction peut-être très différente d'une phase à l'autre. Pour l'ensemble du volcan, les directions d'aimantation mesurées pourront donc se répartir sur l'ensemble du domaine que les variations séculaires font parcourir à la direction du champ terrestre, mais certaines directions seront donc plus fréquemment rencontrées.

Si l'activité volcanique était régulière et continue pendant une longue période, les directions le plus fréquemment rencontrées se situeraient au voisinage de la direction du champ dipolaire. Par contre, si l'activité est discontinue, la courbe des fréquences peut présenter plusieurs maximums distincts de cette direction. En particulier, si un tel maximum apparaît pour une direction correspondante à l'une des valeurs extrêmes atteintes lors de la variation séculaire, il est probable, non certain, que ce maximum est dû à l'existence d'une phase d'activité importante et non au simple jeu de la variation séculaire. De plus, l'existence d'un rythme d'activité valable à l'échelle du volcan complexe peut se traduire par l'apparition dans plusieurs séries verticales de coulées ayant des directions d'aimantation voisines, ces directions variant d'une coulée à l'autre de la même façon.

En fossilisant un phénomène "quasi instantané" la direction d'aimantation des roches fige ainsi le trait commun à plusieurs formations simultanées. L'analyse détaillée de la succession de ces données instantanées doit au moins permettre de proposer un certain nombre d'hypothèses sur la simultanéité (à quelques années près) de certaines coulées. Par là le paléomagnétisme peut permettre de tenter une analyse approfondie de la dynamique d'un

* RITTMANN (1963) écrit à propos des éruptions à cheminée bouchée qui ont dû exister dans le Massif du Sancy : "Malgré leur variété, leur schéma demeure identique : la cheminée est ouverte par des explosions ; des ponces, des cendres, des débris de lave sont projetés avec une grande violence, ultérieurement il peut y avoir écoulement de lave ; après un temps plus ou moins long d'activité décroissante, l'éruption s'achève, souvent suivie d'une longue période de tranquillité.

** Dans ce qui suit, nous utiliserons phase dans le sens phase d'activité au lieu de période d'activité pour éviter la confusion avec période de champ géomagnétique dont l'échelle de temps est très différente.

volcan. Certes, du fait de la variation séculaire, les résultats de ce travail n'aboutiront jamais à une certitude au sens où l'entendent les physiciens, mais à la mise en évidence de faits très probables. Ces faits sont souvent la "certitude" des géologues. Nous devons rappeler que rares sont les méthodes géologiques qui permettent d'aborder des corrélations à l'échelle de temps de quelques années. En particulier les datations radiochronologiques sont encore loin de permettre d'aborder de tels phénomènes.

Nous allons tenter, dans le massif du Sancy, une analyse dans ce sens. Nos buts seront donc les suivants :

1°) En utilisant l'ensemble des données stratigraphiques, radiochronologiques et paléomagnétiques nous allons essayer de préciser si les roches à aimantation normale du Sancy ont été émises pendant une ou plusieurs périodes de champ normal. Nous tenterons de résoudre le même problème pour les roches à aimantation inverse. Ensuite nous essaierons de replacer les périodes ainsi reconnues dans l'échelle mise en évidence par COX et DOELL.

2°) Nous essaierons de révéler les simultanités possibles entre certaines coulées. Pour cela nous rechercherons si certaines directions d'aimantation sont plus fréquentes que d'autres et s'il existe des successions de directions similaires dans plusieurs séries verticales.

β) Comparaison des formations à aimantations inverses
(Fig. 128)

Les directions d'aimantations inverses semblent se répartir en deux ensembles principaux.

- Un groupe à forte inclinaison comprenant les sites 30 (dyke de Fenestre), 39 (cascade de Queureuilh) et 70 (labradorite du Bois de la Reine).

- Un groupe à inclinaison moyenne regroupant les sites

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION DES COULEES INVERSES
DU MASSIF DU SANCY.

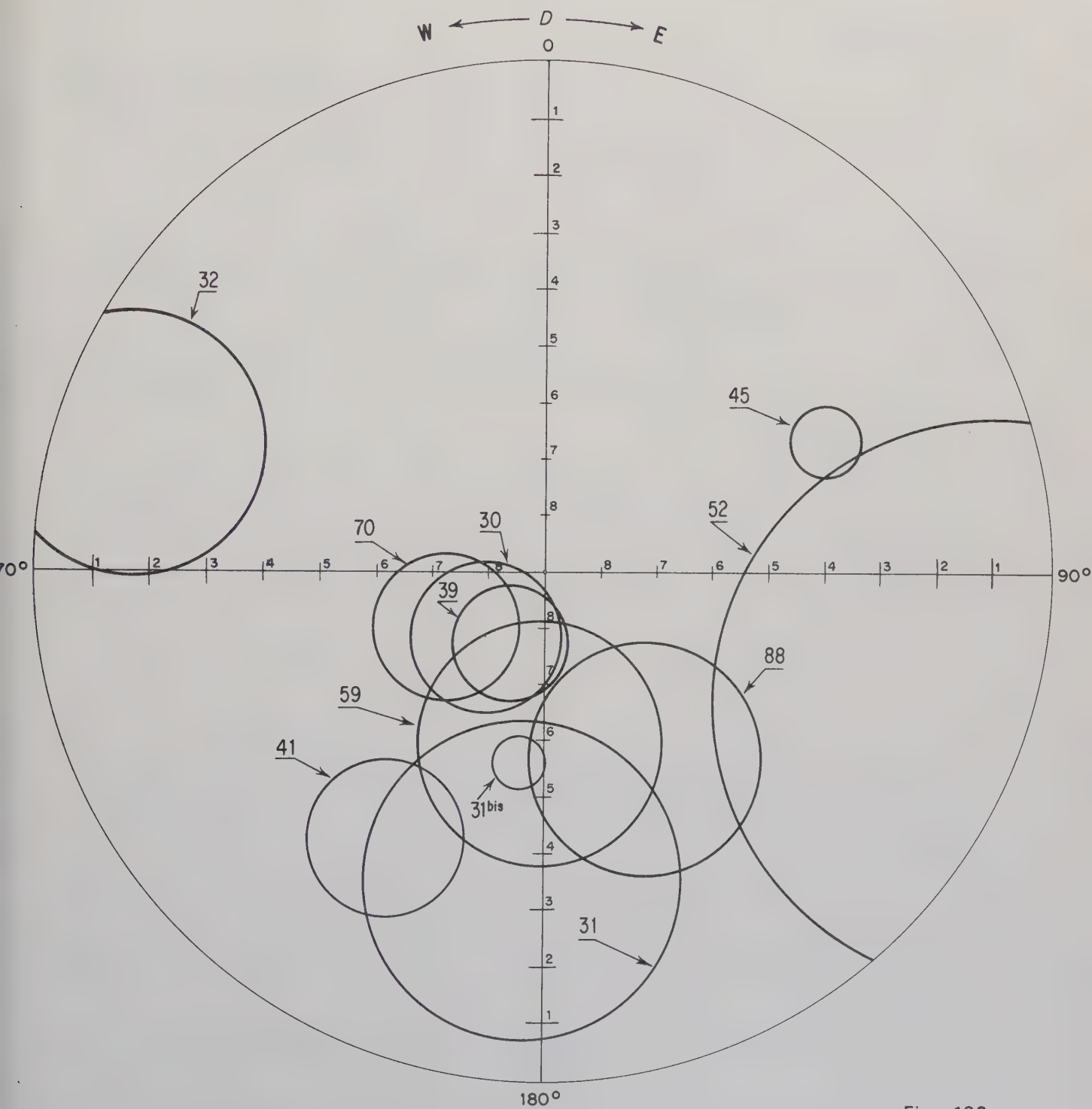


Fig. 128

41 (andésites de la route de la Tour), 31bis (basalte de Liournat), 31 (coulée de l'hôtel de Charlannes), 88 (dyke entre le Pregnoux et la Bughette) et 59 (basalte du Belvédère de la route de Chaudefour à Montmié).

Remarque : Apparaissent à part :

- Le site 45 (andésites injectées dans les cinérites près de l'hôtel des Pins du Mont-Dore. Pour ce site l'orientation faite à la boussole en raison de la pluie est peut-être responsable d'une erreur de déclinaison.
- Les sites 52 (basalte du ruisseau de Surain) et 32 (sancyite du rocher de l'Aigle) ne peuvent pas être jugés convenablement. Nous avons ici un cas où la désaimantation, si elle permet de connaître le sens de l'aimantation, ne permet pas d'atteindre la direction convenable.

Le problème qui se pose est celui de savoir si les deux ensembles précédents correspondent effectivement à des phases d'activité distinctes.

1er GROUPE :

Le dyke de Fenestre (site 30) recoupe la série de Vendeix définie par A. BRUN (A. BRUN, 1969). Tandis que le site 70 correspond à une coulée occupant une ancienne vallée taillée dans cette série. La partie supérieure de la série de Vendeix est contemporaine d'un refroidissement que A. BRUN rattache au 1er refroidissement préligilien (A. BRUN, 1970). Elle précéderait peut-être la glaciation du Donau.

Le site 39 (cascade de Queureuilh) correspond à une coulée qui ravine la série de Rossignolet que A. BRUN (1970) rapporte au Gunz I ou Eburonien. Le creusement serait de l'interstade Gunz I - II.

Si ces trois formations sont contemporaines elle constituent les témoins d'un volcanisme basique mis à jour après la série du Rossignolet et avant la série du Queureuilh (Définitions A. BRUN, 1970).

Des essais de mesure d'âge absolu ont été tentés sur les

échantillons GU 21-1 (site 39) et F 28-5 (site 70) qui donnent les résultats suivants :

Pour le site 39 : $1,6 \pm 0,4$ M.A.

Pour le site 70 : $0,6 \pm 0,9$ M.A.

Le site 39 illustre bien la limite des possibilités des datations radiochronologiques puisque, compte tenu du sens de l'aimantation, cette datation ne nous permet pas de préciser si la coulée de la cascade du Queureuilh se situe entre les Episodes Gilsa et Olduvaï*, ou entre les deux Episodes Gilsa, ou encore entre Gilsa et Jaramillo.**

Il en va de même pour le site 70 où datation et paléomagnétisme combinés ne permettent pas de préciser si la coulée de basalte β_1 du Bois de la Reine a été mise à jour dans la période qui sépare Gilsa et Jaramillo ou dans celle qui sépare Jaramillo et Brunhes.

Mais si, tenant compte de la direction d'aimantation d'une part et du mode de gisement nous acceptons l'hypothèse d'une mise en place plus ou moins simultanée des deux coulées, alors nous devons admettre que l'âge de ces éruptions est compris entre 1,5 et 1,2 M.A. soit dans la période qui sépare Gilsa et Jaramillo dans l'échelle de COX, DOELL et DALRYMPLE (COX, 1969). Il ne s'agit là que d'une hypothèse. Nous verrons si les autres résultats la confirment.

2ème GROUPE :

Le second groupe est plus hétérogène tant du point de vue répartition stratigraphique que géographique puisqu'il se dispose sur l'ensemble du massif. La dispersion des directions d'aimantation ne permet pas de supposer une mise en place simultanée. Ce groupe correspond-il à une seule période géomagnétique ?

Il contient des éléments postérieurs à la série des cinérites du Queureuilh (Site 41) ou formant des dykes (Site 88) et des nappes de basalte plus ou moins développées (Site 31, 31bis et 59) postérieurs à la série de Vendeix. Les essais de datation

* Olduvaï et Réunion dans l'échelle de GROMME (1970).

** entre Olduvaï et Gilsa. — " —

réalisés sur les andésites de la route de la Tour (site 41) donnent un âge de $1,6 \pm 0,4$ M.A.

Ces andésites seraient ainsi plus ou moins synchrones des labradorites de la cascade du Queureuilh datées de $1,6 \pm 0,4$ M.A. dont nous avons dit qu'elles étaient recouvertes par la série du Queureuilh que A. BRUN (1970) rattache au réchauffement de l'interstade (GUNZ I - II ou Waallien). Cette série est formée d'éléments fins à stratification horizontale et les labradorites de Queureuilh se situent à une altitude inférieure à celle des andésites de la route de la Tour. Il paraît donc incontestable que les labradorites du Queureuilh sont antérieures aux andésites de la route de la Tour d'Auvergne. Nous avons bien deux phases éruptives encadrant la série de Queureuilh ou contemporaines de celle-ci.

Etant donné l'âge des venues éruptives, la série du Queureuilh coïnciderait ainsi avec la partie moyenne de l'époque de Matuyama au voisinage des épisodes Gilsa.* Les andésites normales pourraient ainsi s'être épanchées durant l'un de ces épisodes. Ainsi s'expliquerait la présence dans des formations voisines d'aimantations normales et inverses. Mais si cela est, nous devons abandonner l'hypothèse avancée précédemment puisque les labradorites du Queureuilh, antérieures aux andésites de la route de la Tour, ne peuvent plus être placées dans la période qui sépare les épisodes Gilsa et Jaramillo. Pour concilier l'ensemble des observations, nous pouvons cependant proposer deux hypothèses :

- 1°) - Les labradorites de la cascade du Queureuilh et les basaltes du Bois de la Reine sont synchrones et se situent à la base de l'époque qui sépare les épisodes de Jaramillo et de Gilsa. Les andésites de la Route de la Tour, à aimantation inverse, viennent après mais dans la même période soit entre 1,6 et 1,2 M.A. et les andésites à aimantation normale sont contemporaines de l'épisode de Jaramillo ou de

* Olduvaï et Gilsa d'après GROMME (1970).

l'époque de Brunhes. Il s'agirait donc d'un sill
et non de Pillowlovas. Les formations à aimantation normale qui coiffent le Plateau des Rigolets datant aussi des mêmes périodes.

- 2°) - Les labradorites de la cascade du Queureuilh ne sont pas synchrones des basaltes du Bois de la Reine. Alors, on peut admettre que les labradorites du Queureuilh et les andésites de la route de la Tour se succèdent au voisinage et dans l'époque Gilsa.* La coulée du Bois de la Reine venant après, entre les épisodes Gilsa et Jaramillo, ou entre Jaramillo et Brunhes. Nous n'avons pas pour l'instant d'éléments décisifs pour trancher en faveur de l'une des hypothèses ainsi émises.

Nous allons maintenant regarder si le 3ème groupe apporte des arguments.

3ème GROUPE :

Nous avons vu que la dispersion observée résulte, pour une part d'erreurs d'orientation (site 45) ou d'un lavage magnétique insuffisant (site 32). Il nous est donc difficile de raisonner sur la direction, seul le sens est caractéristique. Notons toutefois que 2 échantillons du site 32 (trachyandésites du rocher de l'Aigle) ont été datés respectivement de $1,6 \pm 0,3$ et $1,4 \pm 0,6$ M.A., (MENENDEZ) tandis que les andésites inférieures de l'hôtel des Pins (sites 45) sont datées de $2 \pm 0,4$ M.A. (LETOLLE). La lave du site 45 situé à 1060 m, est incontestablement antérieure à la série du Queureuilh donc aux andésites de la Route de la Tour d'Auvergne. Elle est probablement antérieure aux labradorites de la cascade du Queureuilh qui affleurent à 1090 m. Compte tenu de l'âge mesuré et du sens de l'aimantation, cette coulée aurait vu le jour pendant l'époque de champ inverse qui sépare les deux épisodes de champs normaux qui constituent l'Olduvaï ^{**} soit entre 1,98 et 2,11 M.A. Toutefois, en

* Olduvaï dans l'échelle de GROMME (1970).

** Les épisodes de la Réunion dans l'échelle de GROMME (1970).

raison de l'incertitude qui affecte la mesure d'âge, nous ne pouvons pas exclure un épanchement durant le Matuyama inférieur (2,13 ; 2,43 M.A.) ou entre Olduvaï et Gilsa* (1,79 ; 1.95 M.A.). Quant au site 32, il a été mis en place au voisinage des épisodes Gilsa** puisque, si l'on ne tenait pas compte de l'incertitude, la datation et le signe d'aimantation conduiraient à le placer entre les deux périodes de champ normal qui constituent Gilsa, soit entre 1,61 et 1,63 M.A.. Ces données apportent-elles des éléments nouveaux aux hypothèses précédentes. Malheureusement, très peu et nous devons directement conclure cette étude des formations à aimantation inverse.

Conclusion à l'étude des laves à aimantation inverse.

L'analyse que nous venons de faire nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- 1°- L'étude détaillée des coulées à aimantation inverse rencontrées dans le Sancy confirme bien que ces formations sont trop discontinues pour permettre d'établir une stratigraphie sur la seule base des données paléomagnétiques.
- 2°- L'ensemble des datations réalisées montre que la méthode radiochronologique est, à ce jour, aussi impuissante que le paléomagnétisme pour procéder à une analyse fine de la stratigraphie du Mont-Dore.
- 3°- La combinaison des données radiochronologiques du sens de l'aimantation, et des données morphologiques permet d'avancer les hypothèses suivantes :
 - Les laves à aimantations inverses rencontrées dans le Massif du Sancy, semblent pour la plupart, avoir été émises au voisinage de l'épisode de Gilsa**. Mais il est probable qu'elles n'appartiennent pas toutes à la même époque de champ inverse.
 - Du point de vue chronologie, il paraît raisonnable de

* Entre la Réunion et Olduvaï dans l'échelle de GROMME, 1970.

** = Olduvaï et Gilsa. - *idem* -

supposer que :

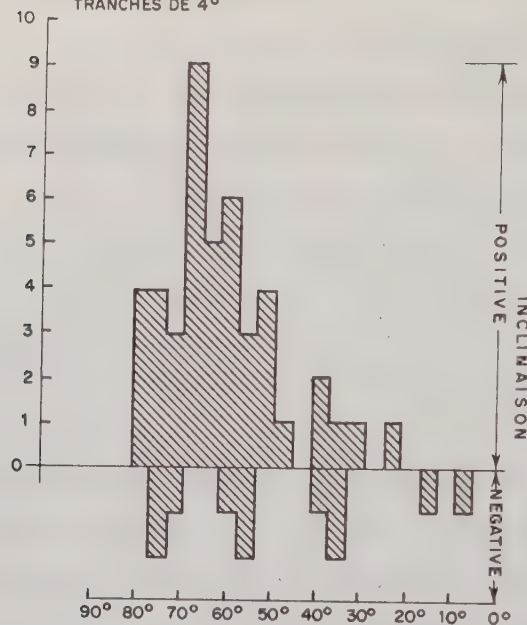
- les premières éruptions à aimantation inverse (site 45) ont vu le jour au voisinage de l'épisode d'Olduvaï* ou peu après.
- En ce qui concerne les venues ultérieures nous pouvons envisager 2 possibilités.
- Si les sites 39 et 70 sont contemporains ils ont vu le jour après les épisodes Gilsa,** peu avant la mise en place du site 41. Les andésites du site 42 correspondraient à un sill contemporain de l'épisode de Jaramillo. Le site 32, probablement antérieur à la série de Queureuilh s'étant mis en place entre les deux épisodes Gilsa.**
- Si, par contre, la parenté entre les directions d'aimantation des sites 39 et 70 n'est qu'un hasard, il paraît raisonnable de penser que les trachyandésites du Rocher de l'Aigle (sites 32) et les labradorites de la cascade du Queureuilh (site 39) se situent au voisinage des phases de champ normal qui constituent l'épisode Gilsa.** Les andésites du site 42 qui peuvent être contemporaines de cet épisode peuvent correspondre à des pillow lavas tandis que celles du site 41 seraient postérieures à Gilsa,** comme les basaltes du site 70, ou contemporaines de la période inverse qui découpe Gilsa.**

Nous voyons qu'une étude détaillée des formations à aimantation normale s'impose. En effet, contrairement aux apparences, les formations à aimantation inverse qui sont les moins développées représentent en fait le sens du champ qui devrait être le plus fréquemment rencontré, pendant la période considérée, si l'activité volcanique avait été continue. On a ici la preuve de la condensation du volcanisme pendant des périodes courtes.

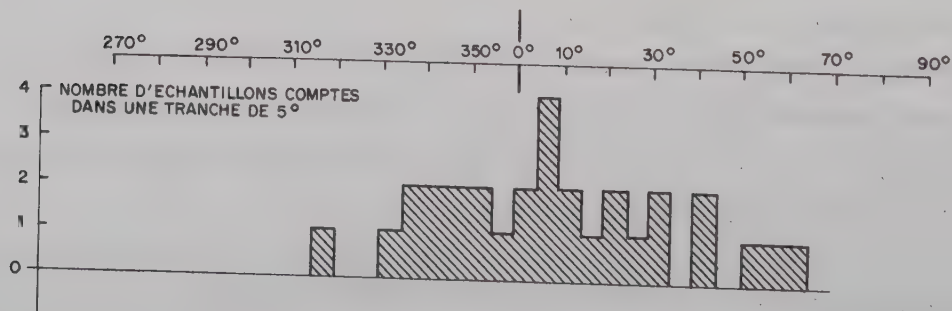
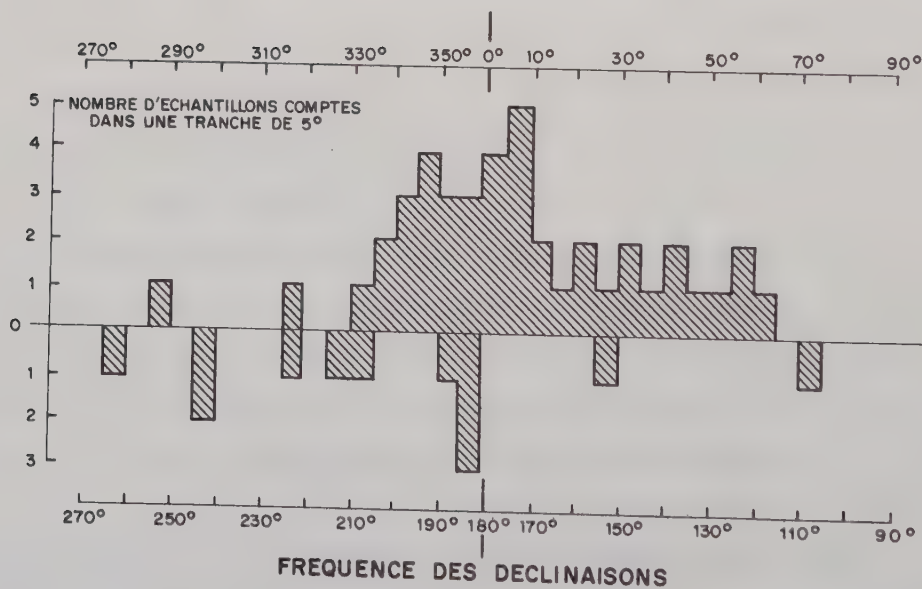
*=La Réunion dans l'échelle de GROMME, 1970.

**=Olduvaï et Gilsa.

NOMBRE DE SITES COMPTES PAR
TRANCHES DE 4°



FREQUENCE DES INCLINAISONS



HISTOGRAMME DE LA DECLINAISON POUR
LES SITES CARACTERISES PAR $40^\circ \leq I \leq 70^\circ$

Y) Comparaison des formations à aimantation normale

Le volcanisme semblant très discontinu, nous allons rechercher si dans les laves à aimantation normale nous pouvons mettre en évidence des phases d'activité variable valables sur l'ensemble du volcan. Pour cela nous rechercherons d'abord si certaines directions sont plus fréquentes que d'autres puis nous comparerons diverses séries verticales.

Sur les figures (129 a et b) nous avons représenté la répartition des inclinaisons et des déclinaisons.

La courbe de fréquence des inclinaisons normales présente cinq maximums; la déclinaison quant à elle révèle deux maximums.

N.B. - Notons qu'à certains de ces groupes sont associés des groupes équivalents d'aimantation inverse.

+ En considérant les inclinaisons nous voyons se dégager un premier groupe caractérisé par des inclinaisons comprises entre 70 et 80°. Il se divise lui-même en deux sous-groupes d'après la déclinaison.

- Groupe à déclinaison voisine de 0° comprenant :

- . Andésites α 2b du Puy de Chambourguet (site 93) au Sud de la Montagne de Bozat.
- . Andésites α 2 du Plateau de Mathusalem (site 94).
- . Andésites du Puy de Redon (site 82).
- . Doréites supérieures de la face Est du plateau de Durbize (site 63, 1560 m).
- . Doréites des Rigolets Hauts (site 43, 1180m) (fig. 42).

- Groupe à forte déclinaison Est comprenant :

- . Doréites de la carrière des Moulins (site 44, 1190m)
- . Doréites de la carrière de Sarrevielle (site 51, 1465m)
- . Coulée d'andésite du Val de Courre (site 98).

Toutes ces laves occupent des positions hautes dans les séries que nous étudierons tout à l'heure à l'exclusion des andési-

tes du Redon que J.C. LEMONNIER (1960) considérait comme des andésites inférieures α_1 . Signalons aussi que M. VIGNERON (1963) a montré que les dykes du Sancy présentaient des directions d'aimantation semblables. Les coulées à forte inclinaison semblent donc bien correspondre à une phase d'activité volcanique de durée relativement courte et reliée à la mise en place des dykes du Sancy.

+ Existence d'un groupe à faible inclinaison

La figure 129 (a) révèle l'existence d'un groupe bien individualisé de coulées caractérisées par des inclinaisons faibles, comprises entre 20 et 40°. Ce groupe comprend les sites :

- 48 : Doréites supérieures, coulée inférieure du sommet des Egravats (1400m).
- 68 : Andésites α_2 de l'ancienne carrière au Nord du Clierque (1480m).
- 69 : Sancyite de la Montagne de Bozat (1500m) (fig. 53)
- 71 : Andésites du sommet du Clierque (1670m) (fig. 26)
- 74 : Doréites supérieures de la série du Val de Courre sous les précédentes (1640m) (fig. 24).

Mis à part les sites 74 et 69 pour lesquels les lavages magnétiques sont peut-être incomplets, nous avons vu au Chapitre I que les directions obtenues au terme de la désaimantation sont caractéristiques. L'ensemble de ces sites présente une déclinaison voisine de 0°. Ils couronnent des séries en formant la surface de certains plateaux. Ils semblent donc bien correspondre à une phase particulière de l'activité volcanique dans le massif du Sancy. Si l'on tient compte du fait que les trachyandésites de la carrière de Sarrevielle (site 51) sont postérieures aux doréites qui couronnent la série du ravin des Egravats (site 48) le groupe à faible inclinaison serait antérieur au groupe à forte inclinaison.

+ Les formations pour lesquelles $40^\circ < I < 70^\circ$

L'ensemble des résultantes caractérisées par $40^\circ < I < 70^\circ$

montre trois maximums de fréquence dans les inclinaisons et trois dans les déclinaisons (fig. 129 C). Toutefois, il est difficile de faire une étude précise car les groupes semblent très mêlés. Pour essayer de dégager des unités, nous allons maintenant comparer les séries reconnues.

Comparaison des flancs oriental et occidental de la vallée de la Dore au Niveau du Mont-Dore : Les séries de la route de La Tour - Rigolets-Hauts et Plateau de l'Angle - Puy de Mareilh (fig. 130, 131)

. Nous avons vu que le plateau de l'Angle pouvait être considéré comme dû à une coulée unique (sites 84, 85).

. Les andésites injectées dans les cinérites de la route de La Tour (site 42, 1100m) ont une direction d'aimantation très voisine de celles qui forment la coulée affleurant le long de la route du Mont-Dore à Clermont peu avant le château d'eau (site 90, 1100m). Notons aussi leur altitude voisine. On peut donc valablement les considérer comme contemporaines. De plus, les andésites inférieures de la route de Clermont (site 90) et les doréites qui les recouvrent (sites 85 et 91) ont des directions d'aimantation très voisines ce qui conduit à l'idée d'une mise en place dans un temps très court.

. Enfin les doréites des Rigolets-Hauts (site 43, 1180m) présentent une direction d'aimantation très proche des doréites du Puy de Mareilh (site 46, 1325m). Le site 46 se rapprocherait donc du groupe à forte inclinaison décrit précédemment.

En résumé, la morphologie suggérait que le plateau de l'Angle et le plateau des Rigolets correspondaient à un même ensemble. Les données palynologiques (A. BRUN, 1969) confirmaient cette hypothèse puisque la série du Mont-Dore s'étale de la route de Guéry, sous le Plateau de l'Angle, à la route de la Tour d'Auvergne, sous les doréites des Rigolets-Hauts. Le magnétisme apporte un nouvel argument puisqu'il apparaît que les andésites injectées

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DE LA SERIE "RIGOLETS - ROUTE DE LA TOUR".

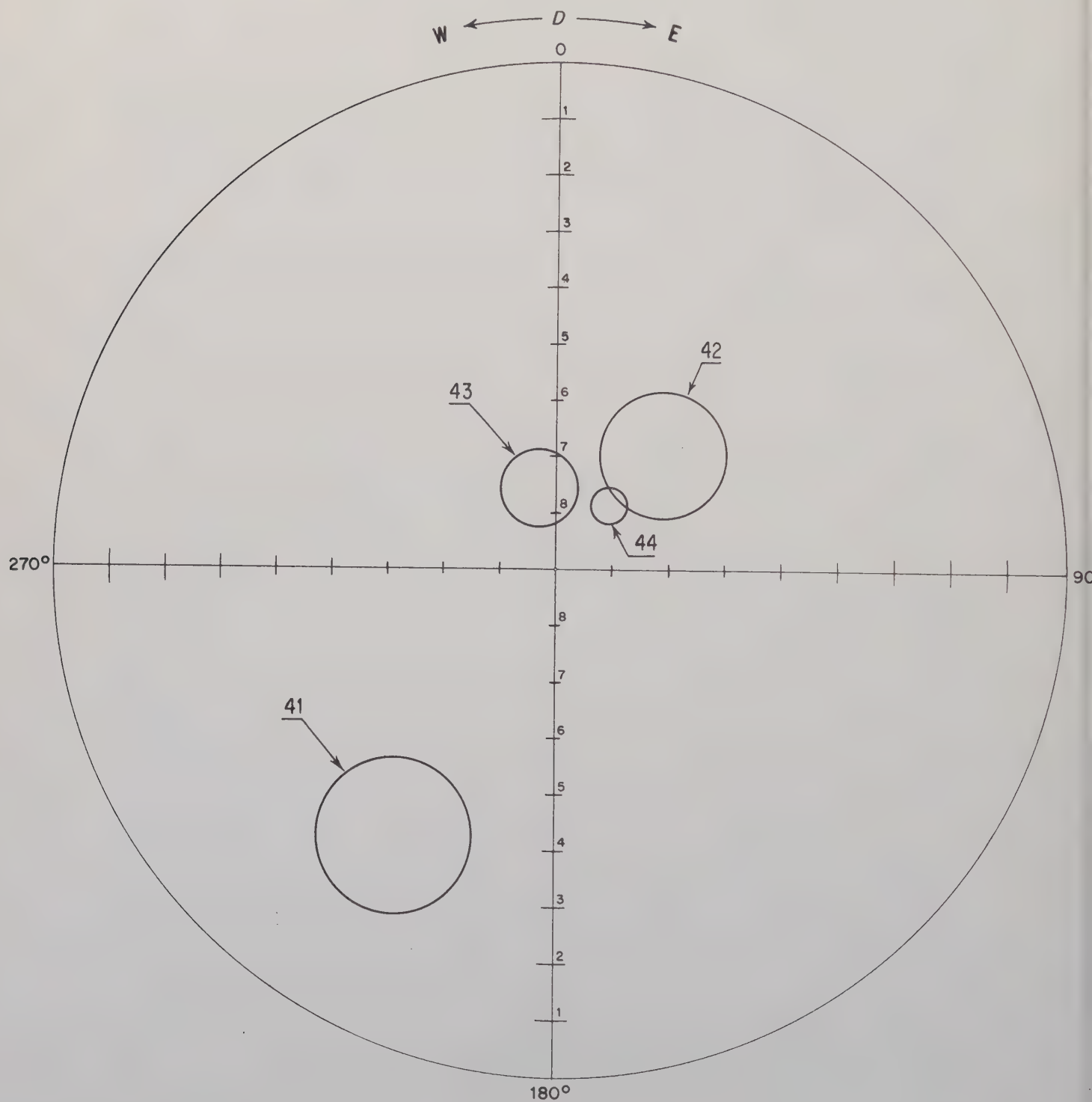


Fig. 130

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DE LA SERIE DU "PLATEAU DE L'ANGLE".

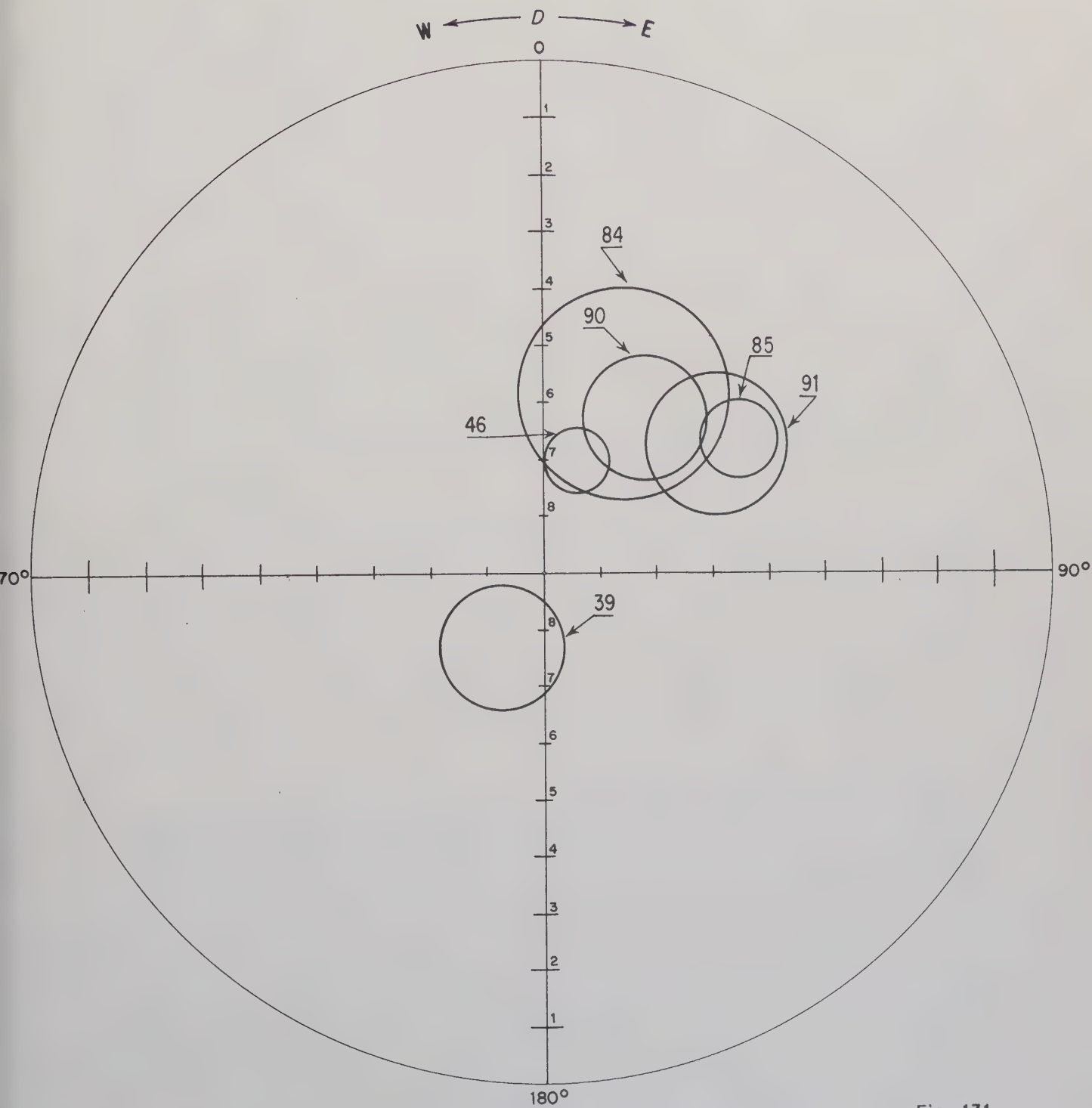


Fig. 131

dans les cinérites de la route de La Tour (site 42) peuvent être contemporaines des coulées d'andésites (Site 90) et des doréites (sites 84 - 85 - 91) qui forment la semelle du plateau de l'Angle; tandis que les doréites du Puy de Mareilh seraient équivalentes des doréites de la carrière des Moulins. Les deux versants de la vallée de la Dordogne formeraient ainsi un ensemble cohérent mis en place au cours de deux phases d'activité contemporaines d'une ou deux époques de champ normal :

- une phase caractérisée par $68^{\circ} < I < 80^{\circ}$
- et une phase caractérisée par $40^{\circ} < I < 60^{\circ}$ et une forte déclinaison Est.

Rappelons que les essais de datation tentés par R. LETOLLE sur les doréites de la carrière de route de Clermont (site 85) et les doréites du Puy de Mareilh (site 46) ont donné les résultats suivants :

- Doréites du plateau de l'Angle (site 85) :
 $1,6 \pm 0,4$ M.A.
- Doréites du Puy de Mareilh (site 46) : âge compris entre 1,4 et 1,7 M.A.

Les coulées à aimantation normale ainsi datées se situent donc très probablement au niveau des épisodes normaux de Gilsa (Echelle Cox 1969)*. La parenté des directions d'aimantation entre les sites 42, 90 et 85 et les datations radiochronologiques se conjuguent pour attribuer un âge de l'ordre de $1,6 \pm 0,4$ M.A. au site 42.

Les sites 41 et 42 auraient ainsi approximativement un âge voisin de 1,6 M.A. Ceci va nous permettre de revenir sur les hypothèses émises en conclusion de l'étude des formations à aimantation inverse et de les préciser.

- Si le site 42 est un sill postérieur aux laves du site 41, les sites 42, 90 et 95 seraient contemporains du second épisode Gilsa, comme les doréites du Puy de Mareilh. Les sites 41

* Olduvaï et Gilsa (Echelle GROMME, 1970)

et 39 se placeraient dans la Phase inverse intermédiaire de Gilsa*. Dans ces conditions le site 39 ne peut pas être contemporain du site 70.

- Si le site 42 correspond à des pillow lavas synchrones des sédiments de la fin de la série du Queureuilh (Définition A. BRUN, 1970) le site 41 à aimantation inverse est encadré par les formations à aimantation normale correspondant aux sites 42, 90 et 85 d'une part et aux sites 44, 43 et 46 d'autre part. Il est alors logique de considérer que les andésites qui le constituent ont été mises à jour durant la courte période de champ inverse qui, entre 1,63 et 1,64 M.A., subdivise l'épisode Gilsa*. Andésites et doréites qui couronnent la série du Queureuilh (définition A. BRUN 1970) seraient ainsi contemporaines de la première phase de l'épisode Gilsa** (1,64 - 1,79 M.A.) tandis que les doréites du Puy de Mareilh et des Rigolets-Hauts et avec elles les dykes terminaux du Sancy se situeraient dans la deuxième phase de Gilsa (1,61-1,63 M.A.)

Les labradorites du Queureuilh (site 39) sont alors antérieurs aux épisodes Gilsa et ne peuvent pas être synchrones du site 70 postérieur à Gilsa à moins que l'erreur commise sur la datation de ce dernier site ne soit plus grande que celle qui est donnée. Une telle sous estimation de l'erreur ne saurait nous surprendre étant donné la forte teneur en Argon de l'air révélée par la mesure.

Ces hypothèses ne doivent pas être considérées comme des faits acquis mais comme des indices. Cependant elles rendent compte des faits évoqués jusqu'ici. Pour aller plus avant dans notre essai de reconstitution d'évolution du massif nous devons tenir compte des résultats obtenus dans le reste du Massif.

La partie amont du Flanc oriental de la vallée de la Dore
Les Séries Grande Cascade - Ravin des Egravats et Col de Cuzeau -
Ravin des Edembouches (fig. 132 - 133)

*=entre Olduvaï et Gilsa d'après GROMME (1970).

**=épisode Olduvaï d'après GROMME (1970)

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DES SERIES DE LA "GRANDE CASCADE" ET DES "EGRAVATS".

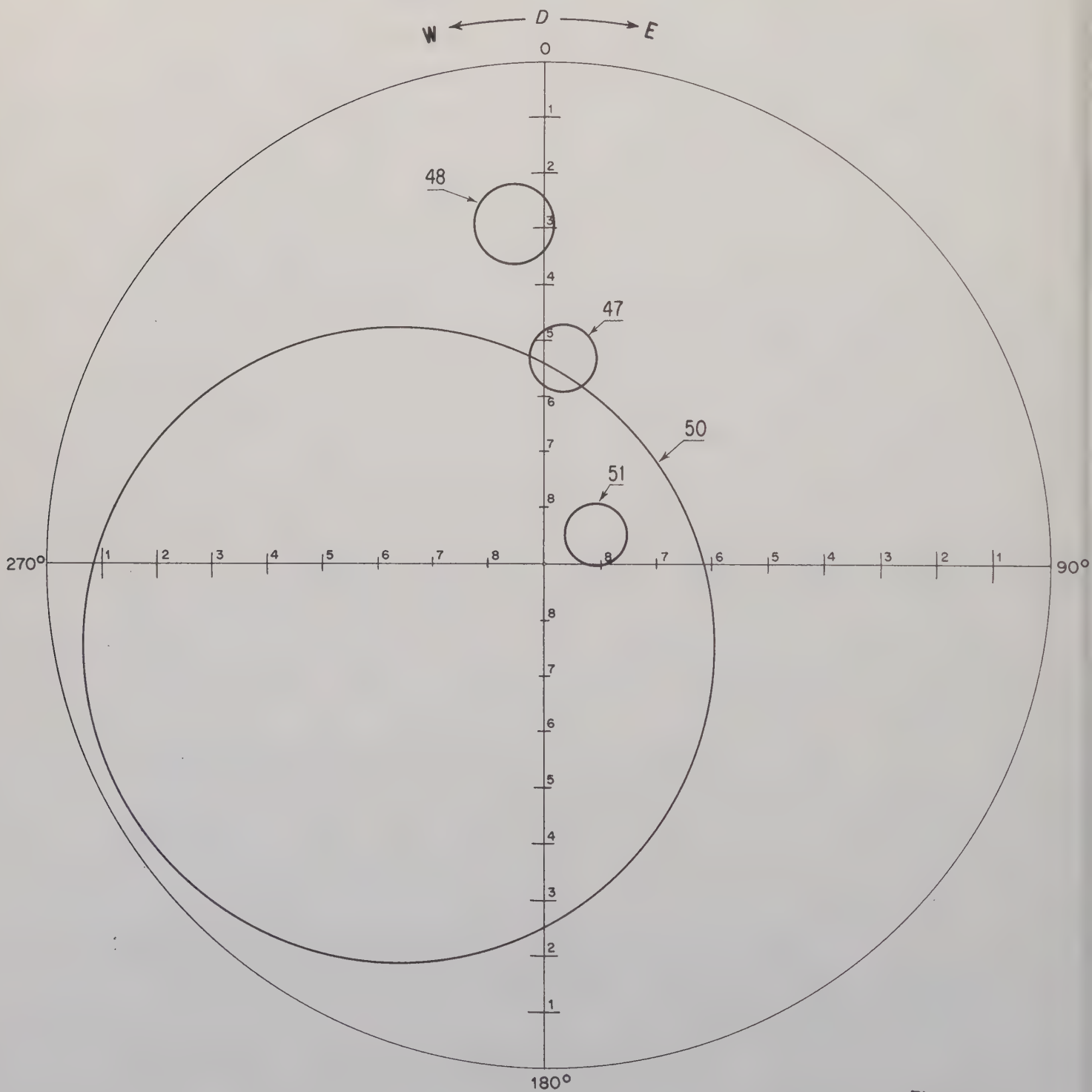


Fig. 132

COUPE DU RAVIN DES EGRAVATS

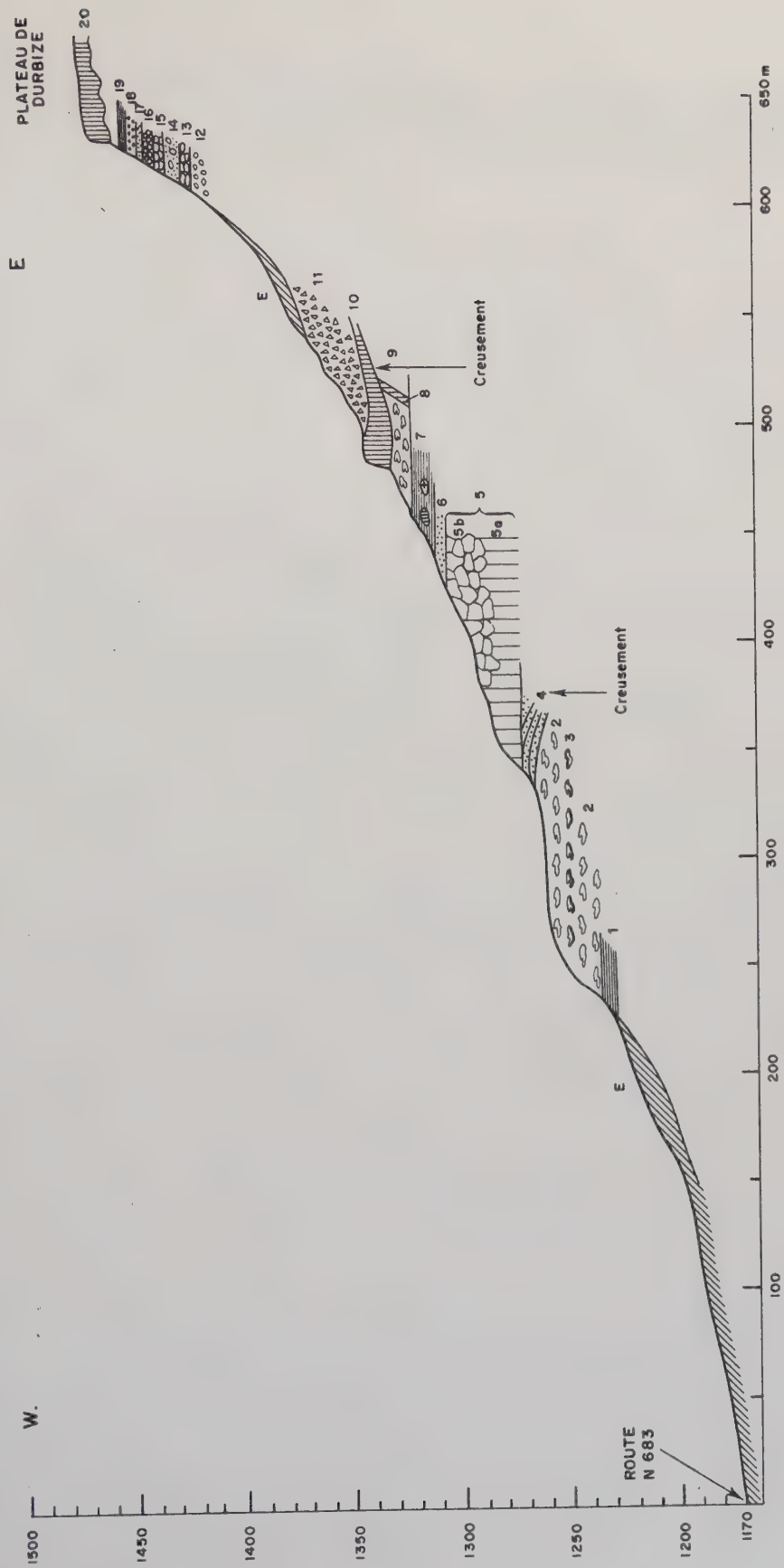


Fig. 134

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DE LA SERIE " EDEMBOUCHES - COL DE CUZEAU."

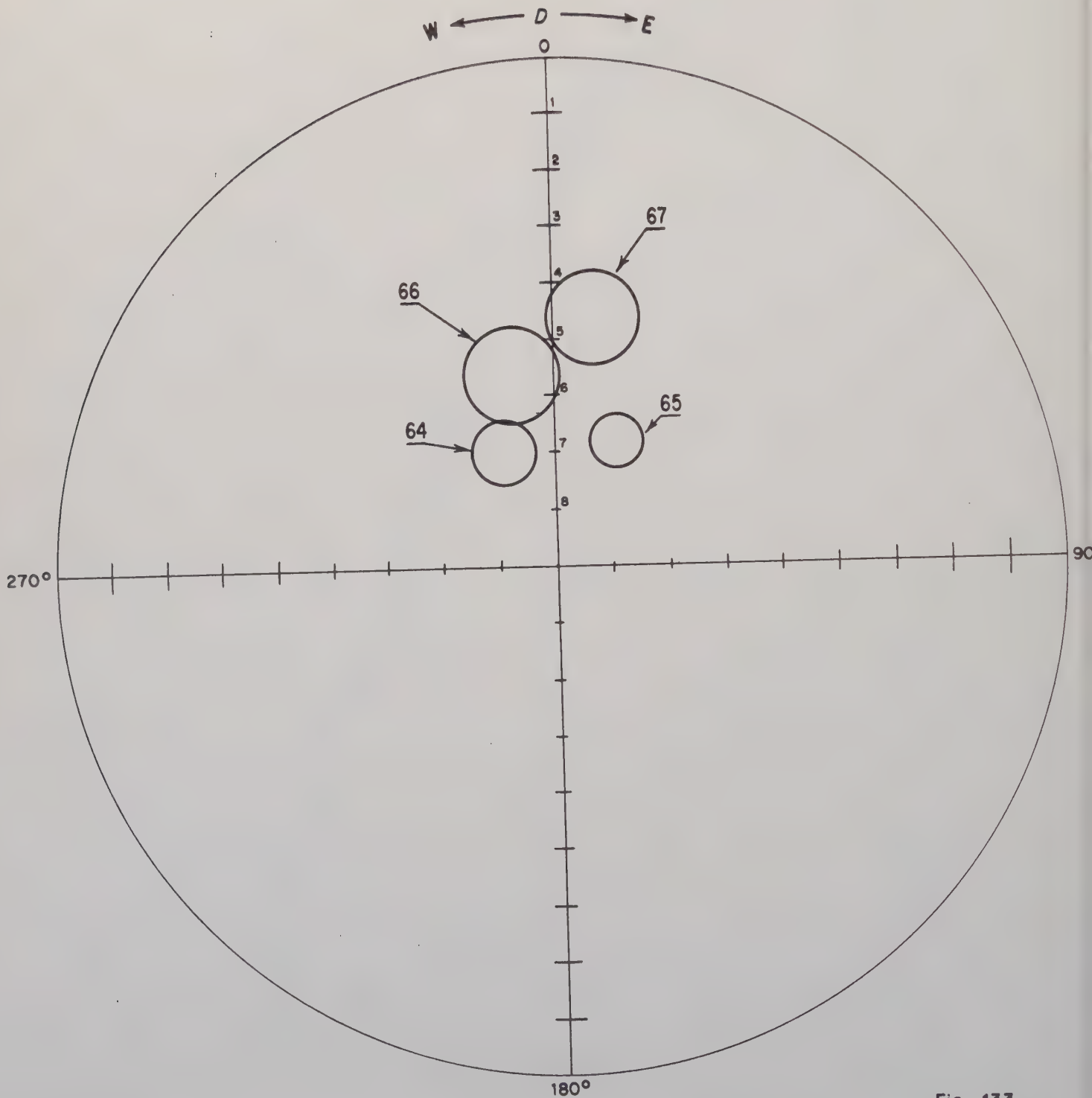


Fig. 133

Légende - Figure N° 134

- 1 - Cinérites fines
- 2 - Cinérites à ponces.
- 3 - Lentilles ligniteuses.
- 4 - Remplissage des sables ocres et rouges à classement granulométrique.
- 5 a) Base de coulée d'andésite compacte.
- 5 b) Sommet de coulée d'andésite décomposée.
- 6 - Sables avec graviers et passées non stratifiées graveleuses et sablograveleuses.
- 7 - Cinérites de couleur crème avec inclusions de phyllites noires et galets de granite et d'andésite à la base.
- 8 - Filonnet d'Andésite.
- 9 - Cinérites mêlées de ponces, galets et graviers.
- 10 - Coulée d'andésite inférieure.
- 11 - Brèche d'explosion supérieure.
- 12 - Cendres pulvérulentes.
- 13 - Brèche avec imprégnation d'oxydes de Fer.
- 14 - Cendres pulvérulentes grises avec blocs de Sancyites.
- 15 - Coulée décomposée.
- 16 - Conglomérat jaune ocre à éléments grossiers.
- 17 - Sables graveleux.
- 18 - Microconglomérat.
- 19 - Argiles sableuses ocres.
- 20 - Coulée de doréites supérieures - site 50.



Photo n° 17 - Le ravin des Egravats
vu depuis le pied du Clierque.

- A - Site 48.
- B - Ravin des Egravats.
- C - Site 50.

+ Morphologiquement la coulée supérieure du Ravin des Egravats (site 50) que l'on voit très bien sur la photo (17) semble se raccorder à la coulée qui forme la Grande Cascade (site 80). Les données paléomagnétiques sont trop imprécises pour pouvoir l'affirmer avec certitude soit que les ARI fortes portées par les échantillons ne soient pas totalement détruites par lavage magnétique (site 50, fig. 23) soit que ce lavage n'ait pas été fait (site 80). Elles nous orientent cependant vers cette conclusion car nous avons vu (fig. 23, Chapitre I) que l'échantillon 67 Eg 24 - 12 caractérise sans doute assez bien l'ATR de la coulée, or sa direction d'aimantation $I = + 50^\circ$ $D = 45^\circ$ W est proche de celle obtenue par ROCHE pour le site 80 ($I = 50^\circ$ $D = 40^\circ$ W). Par contre les données paléomagnétiques semblent bien confirmer les observations de Ph.

GLANGEAUD et A. MICHEL LEVY qui conduisent à dissocier l'ensemble Egravats-Grande Cascade de l'ensemble formant le Plateau de l'Angle.

Cependant une étude paléomagnétique beaucoup plus précise serait indispensable pour pouvoir :

- affirmer l'identité entre la coulée supérieure du Ravin des Egravats et la coulée formant la Grande Cascade.
- assurer que cette unité, si elle existe est différente de la coulée du Plateau de l'Angle.

Nous devons noter que la coulée de doréite du site 48 (fig. 21 - Chapitre I) surmonte une série détritique (fig. 134) que nous avons relevée avec A. BRUN et qui n'a pas d'équivalent avec les sédiments rencontrés sous le Plateau de l'Angle. De même nous avons vu que l'aimantation de la coulée est bien définie et permet de la raccorder au groupe des coulées à faible inclinaison sans équivalent dans la série du Plateau de l'Angle.

Il semble donc bien qu'il y ait une discontinuité entre l'ensemble Grande Cascade-Egravats et l'ensemble du Plateau de

l'Angle. Mais l'ensemble que nous nommons série Grande Cascade Ravin des Egravats correspond bien à une série au sens géologique du terme. Paléomagnétiquement (fig. 132) elle est caractérisée par une certaine dispersion des directions d'aimantation ce qui nous conduit à considérer que les formations volcaniques étudiées appartiennent à des phases volcaniques distinctes.

Par contre la série Col de Cuzeau - Ravin des Edembouches (fig. 133) bien définie géologiquement est beaucoup plus homogène du point de vue directions d'aimantation. J.C. LEMONNIER (1960) a montré que les coulées des sites 67 et 66 étaient séparées presque essentiellement par des brèches d'explosion et des dépôts de Nuées ardentes. Données géologiques et données magnétiques convergent donc pour suggérer que toutes ces formations appartiennent à une même période d'activité.

Si nous comparons les séries Grande-Cascade - Ravin des Egravats et Col de Cuzeau - Ravin des Edembouches nous voyons que la direction d'aimantation du site 47 (Doréites rencontrées à 1230 m sous la Grande Cascade) est celle qui se rapproche le plus des directions obtenues dans le Ravin des Edembouches (site 67) et à la base du Col de Cuzeau (site 66). La présence dans la série de la Grande Cascade de brèches d'explosion nous conduit à envisager que la partie supérieure du Ravin des Edembouches est équivalente à la partie moyenne de la Grande Cascade. Dans le Ravin des Egravats l'équivalent de ce niveau se situerait vers 1350 - 1390 m. Il correspondrait bien au niveau des brèches supérieures rencontré à la base du cirque qui forme l'ament du ravin (figuré 11, figure 134).

Nous voyons ainsi que les données magnétiques conduisent à des hypothèses qui recoupent celles déduites des observations géologiques.

Notons avant d'achever cette comparaison que la coulée qui correspond au site 48 s'intercalerait entre les doréites à

inclinaison moyenne du Col de Cuzeau et les laves à forte inclinaison du Puy de Mareilh.

Comparaison de la série du Col de Cuzeau (fig. 133)
avec celles du Plateau de l'Angle et de La Tour - Rigolets
(fig. 130 et 131).

Nous noterons seulement la parenté entre :

- La coulée de doréite supérieure du Col de Cuzeau (site 65) et celle du Puy de Mareilh (site 46) et de la carrière des Moulins (site 45).

- La parenté entre le dyke d'andésite du Col de Cuzeau (site 64) et la coulée de doréite des Rigolets-Hauts (site 44).

Comparaison des versants occidental et oriental du Col
de Cuzeau: les séries Col de Cuzeau - Ravin des Edembouches et
Col de Cuzeau - Les Monaux (fig. 133 et 137)

- La comparaison des figures 133 et 137 révèle que la direction d'aimantation du site 58 (à 1100m) et celle des andésites rencontrées à 1450 m dans le Ravin des Edembouches (site 67) sont très proches.

- De même nous avons vu que les directions d'aimantation obtenues pour les sites 56 (1130m) 55 (1230m), 54 (1330m) et 62 (1440m) montrent que ces sites appartiennent sans doute à une même coulée ou à des coulées très rapprochées dans le temps. La direction moyenne de l'aimantation des sites 56 - 55 et 54 permet de rapprocher ceux-ci de l'avant dernière coulée du Col de Cuzeau (site 66, 1630m) tandis que celle du site 62 (1440m) est intermédiaire entre celle du site 65 (1630m) et celle du site 66 (1650m).

- Par ailleurs la direction d'aimantation du site 63 (1560m) est proche de celle du dyke qui barre le col de Cuzeau (site 64) et nous avons vu qu'elle est aussi voisine du site 51 (Carrière de Sarrevielle).

Les deux flancs du Col de Cuzeau présentent donc des

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DE LA SERIE DES "MONAUX A CUZEAU".

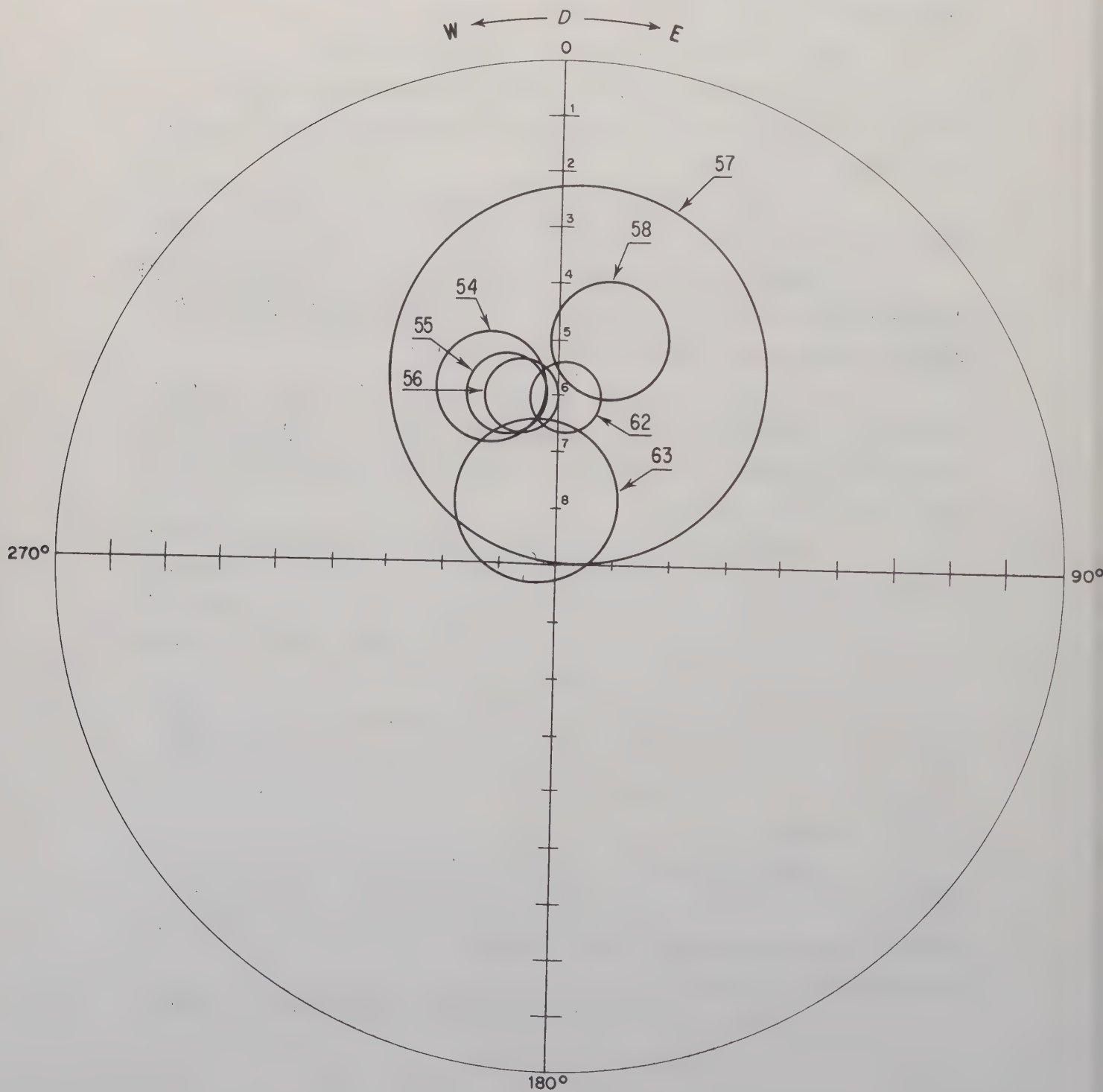


Fig. 137

analogies profondes sur le plan paléomagnétique puisque l'on retrouve, de part et d'autre du Col et en succession verticale, la même variation générale de la direction du champ terrestre. Comme les deux séries dépendent du même appareil éruptif nous sommes logiquement conduits à admettre que les laves qui affleurent entre le village des Monaux et le Col de Cuzeau sont équivalentes aux formations qui constituent les parties moyenne et supérieure du Ravin des Edembouches. Cette conclusion rejoint d'ailleurs l'hypothèse que nous avons émise sur la position stratigraphique du site 47 (andésites moyennes de la Grande Cascade 1230 m). En effet la direction d'aimantation de ce site est très proche de celle du site 62 (1440m).

Le Roc de Cuzeau apparaît ainsi comme un centre éruptif homogène. Nous devons cependant souligner :

- d'une part l'existence, à l'amont du Ruisseau de Surain, d'une couche de basalte β^1 (site 52 - 1360m) à aimantation inverse. La présence d'ARI fortes ne permet pas de connaître la direction avec précision.
- d'autre part le fait que nous n'avons pas retrouvé sur le versant oriental de coulée à faible inclinaison comparable à celle qui couronne le Ravin des Egravats (site 48) s'intercalant entre l'ensemble des coulées à inclinaison moyenne (sites 54, 55, 56, 62, 66, 65) et les coulées à forte inclinaison (site 51, 63, 64).

L'existence de ce niveau montre que l'émission des laves à partir du Roc de Cuzeau a dû se faire au cours de trois ou quatre périodes d'activités.

Les mesures radiochronologiques donnent pour les trachyandésites des Monaux (sites 55, 56) un âge de 1,8 M.A. (- 0 + 0.45) (L. GLANGEAUD et All. 1965).

Cette donnée, compte tenu de la direction d'aimantation,

situé les coulées des Sites (54, 55, 56) peut-être à la base de Gilsa^{*} mais plus probablement durant l'un des épisodes d'Olduvaï^{**} (1,95-1,98 M.A. ou 2,11-2,13 M.A.) comme nous l'avons considéré précédemment (L. GLANGEAUD et all. 1965). Une partie de l'appareil éruptif qui constitue le Roc de Cuzeau aurait donc été mis en place durant l'Olduvaï^{**}. Cette hypothèse est en accord avec l'idée d'une discontinuité entre la série du Roc de Cuzeau et la série du Plateau de l'Angle.

Nous avons vu aussi qu'il était raisonnable de placer la coulée du Puy de Mareilh (Site 46) et, avec elle, celles de Sarrevielle (site 51) et du Roc de Cuzeau (site 63) durant l'un des épisodes Gilsa^{***}, probablement le second (1,61-1,69) M.A. Cette conclusion nous ramène à l'hypothèse sur l'existence d'au moins trois ou quatre période d'activité du volcanisme aux abords du Col de Cuzeau. En effet à une phase contemporaine d'une période de champ inverse se surajoutent deux phases l'une contemporaine de Olduvaï^{**} l'autre de Gilsa^{***}. Faute de datation il nous est impossible de situer avec précision la coulée du site 48 qui coiffe la série du Ravin des Egravats. Toutefois l'existence dans ce ravin, entre les brèches d'explosion supérieures et la coulée du site 48, d'un niveau détritique assez épais conduit naturellement à supposer que les coulées des sites 48 et 50 se raccorderaient plutôt à la phase Gilsa^{***} qu'à celle d'Olduvaï^{**}. Mais il nous est impossible de préciser si ces coulées sont antérieures ou postérieures à celles du Plateau de l'Angle.

Comparaison des flancs oriental et occidental de la vallée de la Dore à l'amont du Mont-Dore (Fig. 132 - 133 - 135)

Pour comparer les deux flancs de la vallée de la Dore nous allons comparer la série du Cliergue, bien définie géologiquement, avec les séries : Grande Cascade, Ravin des Egravats et Col de Cuzeau, Ravin des Edembouches.

La comparaison devient ici beaucoup plus délicate du

* = Olduvaï dans échelle de GROMME (1970).

** = la Réunion dans échelle de GROMME (1970).

*** Olduvaï ou Gilsa dans échelle de GROMME (1970).

STRUCTURE DU PUY DE CLIERGUES

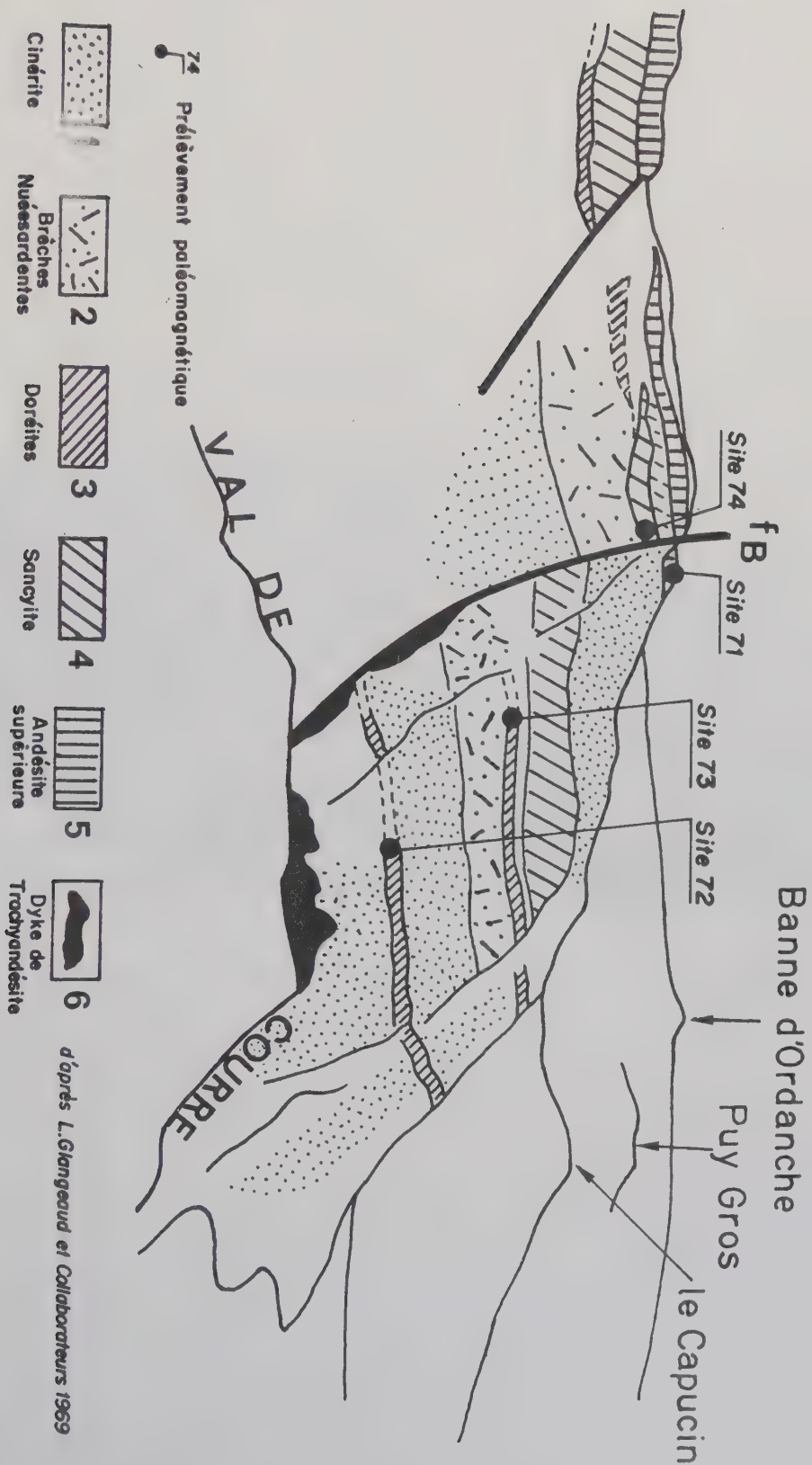


Fig. 136

S

N



Photo n° 18 - La série du Chiergue. Vue du pied du Sancy.

fait que les séries sont séparées.

La série du Cliergue, représentée sur les figures (136 et 135) est caractérisée par une disjonction très nette des directions d'aimantation en deux groupes :

- un groupe à inclinaison moyenne comprenant les sites 89 (Andésilabradorites du Chemin des Artistes), 87 (andésites inférieures du Cliergue),, et les doréites moyennes du Cliergue correspondant aux sites 72 (fig. 41 Chapitre I) et 73 (Fig. 51 Chapitre I).
- un groupe à faible inclinaison qui correspond aux coulées terminales du Cliergue et comprenant les sites 71 (fig. 26 Chapitre I) et 68. Le site 74 (fig. 24 Chapitre I) doit se raccorder à ce groupe mais les ARI fortes ne permettent pas de connaître avec une grande précision la direction.

Au point de vue paléomagnétique nous avons vu précédemment que les coulées à inclinaison faible sont comparables à la coulée correspondant au site 48 du Sommet des Egravats. Elles surmontent la série des coulées à inclinaison moyenne très comparable à la série à inclinaison moyenne qui constitue les parties moyenne et supérieure du Col de Cuzeau. Nous retrouvons donc un schéma de variation verticale de la direction d'aimantation comparable de part et d'autre de la vallée de la Dore. Ce parallélisme suggère un synchronisme dans l'évolution qui amène à raccorder d'une part les coulées correspondant aux sites 65 - 66 avec celles étudiées par l'analyse des sites 72 et 73 et d'autre part le dyke du Col de Cuzeau (site 64) avec celui qui barre le Val de Courre (site 86).

Sur le plan géologique les coulées supérieures du groupe à inclinaison moyenne (sites 72 et 73) surmontent des brèches d'explosion supérieures et sont intercalées de dépôts de nuées ardentes tandis que les sites 66 et 65 surmontent des dépôts de ce type

DIAGRAMME DES DIRECTIONS D'AIMANTATION AVEC CERCLES DE CONFIANCE
DE LA SERIE DU "CLIERGUES." (Aimantations normales)

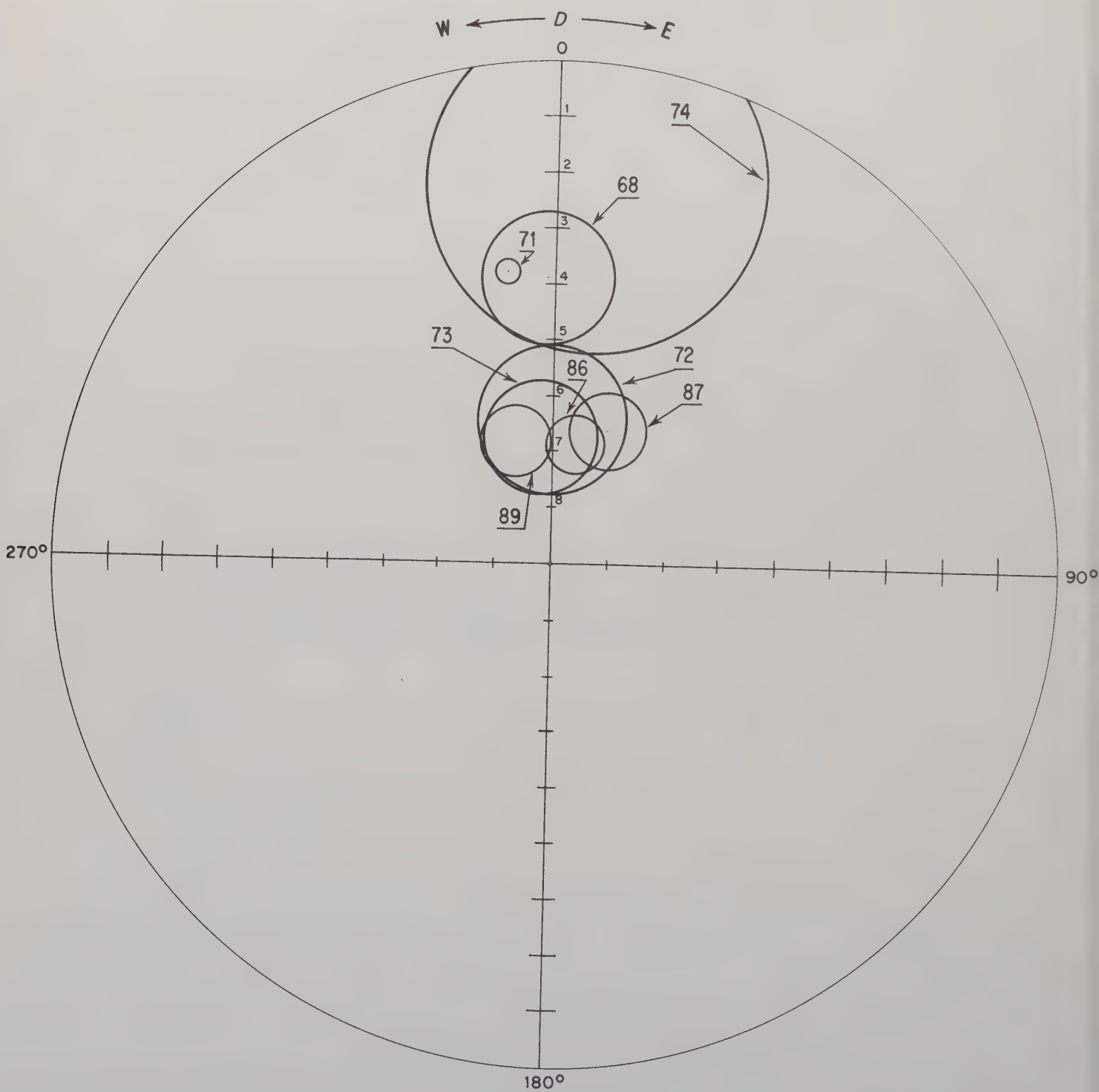


Fig. 135

(J.C. LEMONNIER, 1960).

De même le dyke du Val de Courre (site 86) recoupe la série du Cliergue comme le dyke correspondant au site 64 recoupe la série du Col de Cuzeau. Données magnétiques et géologiques s'accordent donc pour nous faire considérer que les séries moyenne et supérieure du Col de Cuzeau sont équivalentes à la série moyenne et aux émissions terminales du Cliergue.

Si nous nous écartons du Cliergue pour étudier l'ensemble Cliergue - Montagne de Bozat les interprétations deviennent délicates car nous n'avons pas de séries verticales complètes. Toutefois nous avons vu que les données morphologiques et paléomagnétiques s'accordent pour synchroniser les andésites de l'ancienne carrière ouverte au Sud du Capucin (site 68) et les trachyandésites de la Montagne de Bozat (site 69) tandis que les andésites du Puy de Chambourguet (site 93) postérieures à la masse qui forme la Montagne de Bozat se raccorderaient à la phase terminale à forte inclinaison. Nous retrouvons sur le flanc occidental du Cliergue un schéma de variation comparable à ce que nous avons vu au sommet du Ravin des Egravats, les hypothèses que nous venons de faire prennent une certaine valeur.

Enfin les formations qui correspondent aux sites 69 et 93 sont postérieures à la coulée qui forme la cascade du Bois de la Reine à aimantation inverse (site 70) dont nous avons discuté la position à propos des formations à aimantation inverse. Il en résulte que les coulées à faible inclinaison sont au moins contemporaines et peut être postérieures à la série du Queureuilh, que nous situons au niveau de Gilsa*. Nous retrouvons donc mais d'une façon plus nette la conclusion à laquelle nous étions arrivés sur la position stratigraphique des coulées à faible inclinaison au terme de notre étude du complexe Col de Cuzeau - Grande Cascade.

Remarques : 1°) A. BRUN (1970-1971) signale la présence vers 1120-1130m au Salon du Paradis, en amont du Ruisseau de Cliergues, de formations volcano-sédimen-

* Olduvaï et Gilsa (Echelle GROMME, 1970).

taires que la microflore permet de raccorder à la partie inférieure de la série du Rossignolet. Ces sédiments sont d'une part recouverts par les coulées à faible inclinaison de la Montagne de Bozat et du Cliergues et les coulées à forte inclinaison de la Carrière des Moulins et des Rigolets-Hauts - d'autre part ravinés par l'érosion qui a précédé la mise en place de la série du Queureuilh recouverte elle-même par les coulées de Rigolets Hauts.

Nous retrouvons donc un argument pour situer les coulées à faible inclinaison au voisinage de l'épisode Gilsa.*

- 2°) La série du Cliergue est très probablement postérieure à la coulée à aimantation inverse qui affleure au pied du téléphérique des Rivaux Grands (site 45) et datée par R. LETOLLE de $(2 \pm 0,4 \text{ M.A.})$ dont nous avons dit qu'il paraissait logique de la situer au niveau de la courte période de champ inverse qui sépare les deux temps de l'épisode normal Olduvaï.** Or nous avons vu que les formations du Col de Cuzeau que nous considérons comme équivalentes des coulées à inclinaison moyenne du Cliergue devait se situer à l'Olduvaï.** Dans ces conditions il nous apparaît comme raisonnable de situer cette série moyenne à l'Olduvaï** supérieur (1,95 - 1,98 M.A.)

Autres résultats.

Les trachytes de la route de Montmie (site 60) ont une direction d'aimantation comparable à celle des andésites injectées dans les cinérites de la route de La Tour. Nous avons vu que les basaltes qui les surmontent peuvent être rapprochés des andésites à aimantation inverse de la route de La Tour.

Nous pouvons donc penser que les deux séries sont équivalentes.

* Des épisodes Olduvaï et Gilsa dans l'échelle de GROMME (1970).
** La Réunion dans l'échelle de GROMME (1970).

Conclusion à l'étude du Volcan du Sancy un essai de chronologie

Nous pouvons résumer l'ensemble des hypothèses émises en dressant le tableau suivant :

1,61 M.A.	Coulées à forte inclinaison $68^{\circ} < I < 80^{\circ}$	
	Rigolets Hauts Dykes du Sancy ? Carrière de Sarrevielle	
	Dyke du Val de Courre	Puy de Mareilh
	Coulée à faible inclinaison - Série du Queureuilh	
	Sommet du Cliergue	Sommet des Egravats
1,79 M.A.	Série route de La Tour	Série Plateau de l'Angle
	Coulée du Bois de la de la Reine	Coulée de la Cascade du Queureuilh
	?	?
1,95 M.A.	Coulées à inclinaison moyenne	
	Série du Cliergues	Série Col de Cuzeau
		Les Monaux
	Coulée inférieure des Rivaux grands à aimantation inverse	Coulée inverse du Ruisseau de Surain ?
2,1 M.A.		

Ce tableau ne doit pas être considéré comme un résultat définitif. Cependant il rend compte des données acquises à ce jour. Il permet de poser de nouvelles hypothèses de travail et en particulier il montre que les datations radiochronologiques doivent non pas porter sur les laves à aimantation inverse mais sur celles qui ont une direction d'aimantation normale* En particulier il paraît nécessaire de dater les coulées à inclinaison faible. Mais aussi il laisse présager que pour atteindre à une chronologie précise il est nécessaire de combiner avec les données paléomagnétiques des datations radiochronologiques dont la marge d'erreur soit inférieure à $\pm 0,1$ M.A.

+ La datation des laves à aimantation inverse qui sont rares, apporte peu d'éléments chronologiques. Au contraire, des datations précises des laves à aimantation normale permettraient de contribuer à définir les limites des épisodes normaux qui découpent l'époque inverse de Matuyama et de préciser la position exacte des phases d'activité.

En résumé, les données magnétiques nous permettent de proposer un schéma encore incertain certes, mais cohérent du massif du Sancy au sens strict.

Cette étude paléomagnétique nous a permis d'illustrer un mode d'utilisation particulier des données magnétiques. Dès le début de cette étude il était clair que la considération des paramètres magnétiques d'une coulée ne pouvait rien apporter pour l'analyse stratigraphique. Par contre un raisonnement basé sur l'ensemble des données magnétiques permet de dégager certaines informations. Ce raisonnement peut être abordé par deux voies :

- 1) La recherche de phases d'activité par l'analyse de la répartition des directions d'aimantation en tenant compte du fait que si des émissions de laves sont très rapprochées dans le temps les coulées correspondantes ont nécessairement des directions d'aimantation proches. La réciproque n'étant pas vraie il est nécessaire de s'assurer que les synchronismes ainsi suspectés sont effectivement possibles et logiques dans le cadre de l'activité générale du volcan. Une étude précise de la structure du volcan devra donc précéder ou suivre l'analyse paléomagnétique.
- 2) La comparaison des spectres de variation de la direction d'aimantation définis sur des séries volcaniques bien définies permet de faire des hypothèses sur les parallélismes dans l'évolution des différentes parties du volcan.

Cette méthode ne permet que d'émettre des hypothèses qui pour atteindre à un degré de certitude suffisant doivent être confrontées avec l'ensemble des données géologiques.

Le paléomagnétisme ainsi utilisé n'apparaît pas comme un outil stratigraphique efficace par lui-même mais comme l'un des aspects d'une méthode d'établissement de corrélations stratigraphiques.

graphiques. Cet aspect ne doit pas être négligé puisqu'il permet d'appréhender le seul trait caractéristique d'un instant qui soit accessible sur les roches volcaniques.

Enfin nous avons vu que combiné avec les mesures radio-chronologiques le paléomagnétisme est indispensable pour aborder la chronologie absolue d'un massif récent.

II - LES VOLCANS DE LA BANNE D'ORDANCHE ET DE L'AIGUILLER.

Nous donnons dans le tableau III_a l'ensemble des résultats que nous avons obtenus sur les sites portés sur la carte¹²³. Le tableau III_b représente le bilan des mesures exécutées précédemment. On est frappé par l'abondance des aimantations inverses rencontrées. L'ensemble Aiguiller - Banne d'Ordanche est donc différent du Massif du Sancy. En particulier il est évident que les phases d'activité du volcan du Sancy ne coïncident pas rigoureusement avec celles du Massif de l'Aiguiller et de la Banne d'Ordanche. Pour tenter d'établir une synthèse de l'ensemble de ces édifices nous allons d'abord étudier la répartition géographique des aimantations inverses et normales puis nous rechercherons si certaines phases d'activité ont pu jouer un rôle important dans la mise en place de l'édifice.

1)- REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES AIMANTATIONS INVERSES ET NORMALES

a) Les Flancs occidental et méridional de la Banne d'Ordanche (Photo 19)

La série volcanique débute par une série acide, le dôme rhyolitique de Lusclade-La Gacherie dont nous devons remarquer la parfaite homogénéité des caractères magnétiques (aimantation normale sites 22 - 23 et 24). Viennent ensuite des coulées à aimantation normale qui forment la falaise bordant la route entre Murat le Quaire et Pailhers (sites 15, 16, 17, 18, 19 et 100) surmontée par des tufs à ponce. L'ensemble est recouvert par des coulées inverses qui forment une carapace (sites 20, 21 a et b, 15 a et b, 01). Descendant de la Banne d'Ordanche où elles atteignent 1300 m (sites 15 a et b) et forment les coulées qui affleurent dans le talus de la Route en contrebas du nouveau parking, les laves à aimantation inverse s'étalent au Sud Ouest jusqu'à 1100 au Pré Cohadon et près du village de Vacances (sites 20, 21 a et b) et

au Nord Est à 1000 m avec les trachyandésites de Laqueuille (site 01). On peut rattacher à cette nappe inverse les coulées d'Ordanchite des Courts (sites 121 et 122) et de trachyandésites du Puy Gros (site 119).



Photo n° 19 - Le flanc Sud-Ouest de la Banne d'Ordanche avec position des sites de prélèvements.

Carrés pleins sites à aimantation normale (Rhyolite)
Carrés clairs sites à aimantation inverse.

Site	I _R	D _R	R	k	α 95
01	- 57°	149° W	2.99	226	8°
02 (1)	+ 57°	46°30 W	7.55	16	14°
03	+ 62°	29° E	0.99	-	-
04	+ 32°30	0°30 W	2.98	115	11°30
05	+ 60°	30°30 E	2.89	20	28°
06	- 60°	127°30 W	3.80	16	23°30
07	- 47°	160° W	2.91	23	25°30
08	- 58°	168° W	1.92	14	-
09	- 41°30	114° W	2.95	42	19°
10	+ 67°	27°30 E	2.86	15	32°30
11	+ 63°30	10° E	3.94	55	12°30
12	+ 64°	32° E	0.99	-	-
13	ARI très intense				
14	+ 48°30	74° E	2.88	17	30°
15a	- 53°	172°30 W	2.96	61	16°
15b	- 54°	166° E	2.95	44	18°30
16	+ 56°	46°30 E	0.99	-	-
17	+ 65°30	11°30 E	2.98	118	11°30
18	+ 60°30	4°30 W	2.99	900	4°
19	ARI très intense				
20	- 68°30	111° W	2.86	15	32°30
21a (6)	Aimantation non caractéristique				
21b	- 49°30	134° E	2.95	46	18°30
22	+ 66°30	3° W	2.99	880	4°
23	+ 63°	10° E	2.99	240	8°
24	+ 61°	4° E	3.99	562	4°
25	- 57°	162° E	2.96	62	15°30
26	+ 60°	31° W	1.99	448	-
27 (2)	- 59°	146°30 W	5.95	114	6°30
28	+ 60°	7°30 E	2.69	7	-
29	+ 9°	78° W	2.98	114	11°30
33	- 61°30	177° E	2.99	386	6°30
34	+ 60°30	15°30 E	2.98	112	10°
35 (3)	- 47°	173°30 W	1.99	205	-
36 (4)	+ 50°	12° E	2.95	45	18°30
37 (5)	+ 52°30	10°30 E	6.94	120	5°30
38	+ 54°	42°30 E	2.81	11	38°

(1) y compris résultats RB₁ et RB₂ M. VIGNERON 1965

(2) y compris résultats L₁ M. VIGNERON 1965

(3) Résultats G₃ M. VIGNERON 1965 - Les inclinaisons mesurées par C. BOBIER donnent (- 42°30, - 38°30, - 42°30)

(4) Résultats G₇ M. VIGNERON 1965

(5) y compris résultats M. VIGNERON 1965

(6) sur trois échantillons on a R = 1,41 - k = 1

Tableau III_a - Nouveaux résultats dans le Massif de la Banne d'Ordanche.

Auteur	Site	I _R	D _R	R	k	α 95
A. ROCHE 1958	100	+ 58°	22° W	0.99	-	- (1)
	101	+ 67°30	21°30 E	5.94	86	7°30 (1)
	102	- 31°	175° W	2.96	57	16°30 (1)
C. LEPVRIER 1962	103	- 35°	176°30 E	1.99	110	- (1)
	104	- 62°30	159°30 W	1.99	1270	- (1)
	105	+ 72°30	81°30 E	1.98	71	- (1)
	106	+ 58°30	36° E	1.99	131	- (1)
	107	- 57°	154° E	2.87	16	31° (1)
	108	+ 57°	38° W	1.99	199	- (1)
	109	+ 69°	0°	6.93	98	6° (1)
	110	+ 59°30	34°30 E	1.97	45	- (1)
M. VIGNERON 1965	111	+ 61°	26° E	0.99	-	-
	112	- 41°30	169° W	2.98	172	9°30
	113	- 42°	173° W	0.99	-	-
	114	- 44°	163°30 W	2.99	452	6°
	115	- 37°30	168°30 W	3.97	131	8°
	116	+ 66°30	33°30 E	3.94	50	13°
	117	+ 49°	79° W	0.99	-	-
	118	+ 43°30	48°30 W	2.92	25	24°30
	119	- 46°30	178°30 W	2.94	34	21°30
	120	- 44°30	139° W	3.94	57	12°
	121	- 60°30	158° W	2.99	379	6°30
	122	- 51°	153° W	0.99	-	-
	123	- 50°30	167° E	2.95	42	19°
	124	- 74°30	120° E	3.95	69	11°

(1) sans lavage magnétique

Tableau III_b - Résultats antérieurs dans le Massif de la
Banne d'Ordanche.

Cet ensemble à aimantation inverse semble morphologiquement se rattacher aux coulées inverses qui recouvrent le plateau de Charlannes (site 31 et 31bis - 1146m) ou forment les Roches de l'Aigle au Nord du Rocher de Vendeix (site 32, 1232m). L'ensemble à aimantation inverse semble donc s'épancher sur les flancs ^{du} paléorelief constitué par le dôme de rhyolite de Lysclade La Gacherie pour s'étaler sur le fond d'une ancienne surface d'érosion s'éta-geant entre 1150 m et 1250 m au voisinage de La Bourboule.

Le sommet de la Banne d'Ordanche est recouvert par une série de coulées à aimantation normale dont les directions d'aimantation sont difficiles à préciser en raison des aimantations parasites dues aux champs de foudre (sites 12, 13, 14 et 34)

b) Le Flanc oriental de la Banne d'Ordanche et le volcan de l'Aiguiller

De part et d'autre du Lac de Guéry nous trouvons des coulées à aimantation inverse entre 1250 et 1400 m avec les labradorites λ^1 de Guéry (sites 112, 113, 114 et 35) ou les basaltes, trachyandésites, ordanchites et phonolites dépendant du volcan de l'Aiguiller (sites 06, 07, 08, 09 123 et 124). Cette formation inverse semble se prolonger jusqu'au niveau du Puy Chambon où nous retrouvons des trachytes à aimantation inverse en contact avec le granite (site 120). Etant donnée l'altitude de ces formations inverses nous serions tentés de paralléliser ces formations avec la nappe à aimantation inverse rencontrée entre La Bourboule et la Banne d'Ordanche, au moins en partie. Toutefois nous devons être prudents car si ces formations inverses ont bien été recouvertes par des coulées à aimantation normale dont certaines prolongent les formations normales signalées au sommet du Sancy (sites 10, 11, 111, 117) il ne faut pas oublier qu'elles ont aussi été entaillées par des vallées où sont venues s'accumuler des dépôts volcano sédimentaires et des coulées à aimantation normale (sites 116, 117 36, 37, 38) comme l'a montré A. BRUN (A. BRUN, C. BOBIER,

L. GLANGEAUD 1969 et L. GLANGEAUD, A. BRUN, et C. BOBIER 1970)

c) Première conclusion : Les aimantations normales et inverses ne se répartissent pas de façon aléatoire. Le dynamisme Hawaïen qui caractérise une partie de l'activité des volcans de la Banne d'Ordanche et de l'Aiguiller semble entraîner la formation de véritables niveaux alternativement normaux et inverses comme nous l'avons rencontré dans le Massif du Velay. On trouve ainsi dans la partie occidentale, sur un dôme acide à aimantation normale :

- un horizon normal
- un horizon inverse
- un horizon normal

Dans la partie orientale, sur une série inverse repose un ensemble normal.

La considération du sens de l'aimantation ne nous permet pas de préciser par exemple si les horizons inverses qui semblent ainsi exister se rattachent à une même période inverse ou à plusieurs.

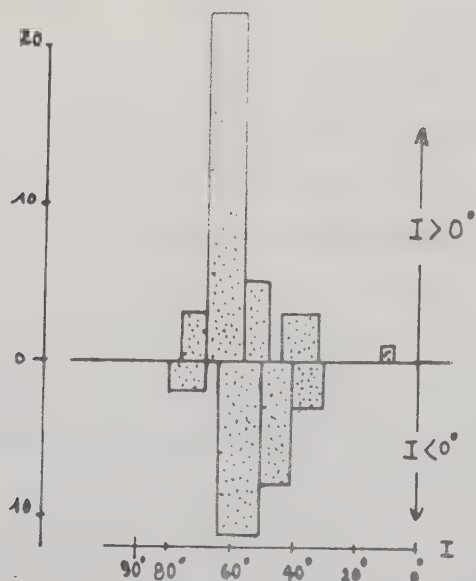
Pour essayer de répondre à cette question nous allons étudier les directions d'aimantation.

2) - ANALYSE DES DIRECTIONS D'AIMANTATION : RECHERCHE DE PHASES D'ACTIVITE MAJEURES.

Comme nous l'avons fait à propos des formations à aimantation normale du Sancy nous allons essayer de rechercher, à partir des courbes de fréquence des inclinaisons et des déclinaisons s'il est possible d'envisager l'existence de phases majeures d'activité. Nous considérerons successivement les directions des aimantations inverses puis celles des aimantations normales.

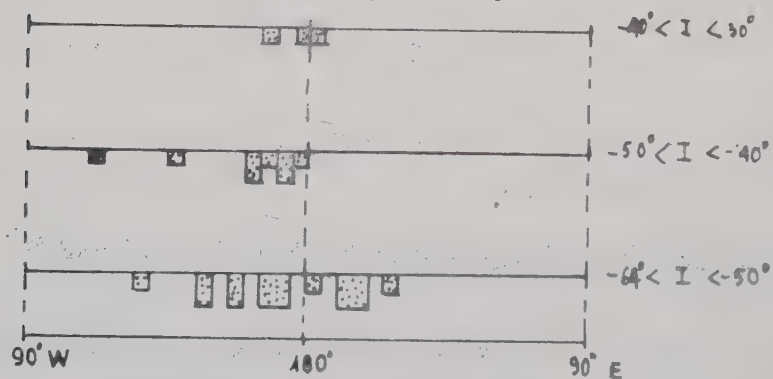
a) Répartition des directions des aimantations inverses

Sur la figure 138_a nous avons porté la fréquence des inclinaisons inverses. Cet histogramme montre deux maximums de Fréquence l'un correspondant à des inclinaisons comprises entre - 40° et - 48°, l'autre à des inclinaisons comprises entre - 50°



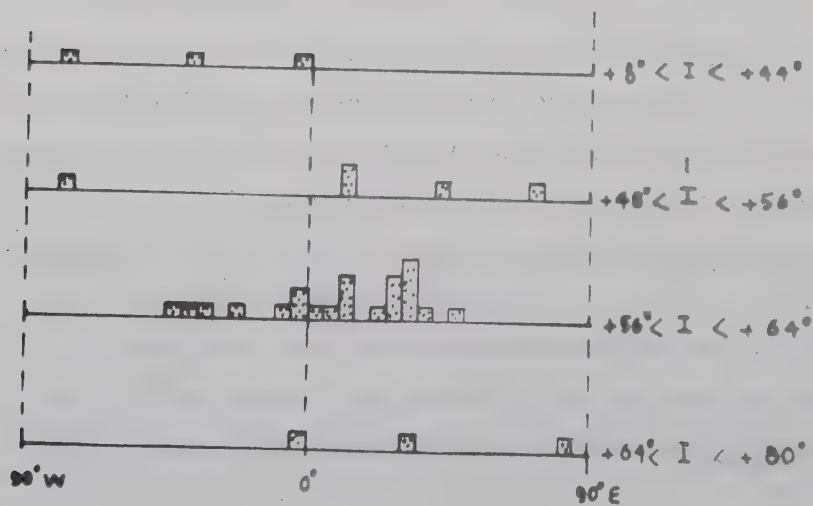
a

Fréquence des
Inclinaisons



b

Répartition des
Déclinaisons pour
I négatif



c

Répartition des
Déclinaisons pour
I positif

Répartition des directions d'aimantation
Volcan de la Banne d'Ordanche

et - 64°. L'examen de la répartition des déclinaisons dans chaque groupe d'inclinaison nous permet de subdiviser les groupes ainsi définis.

L'existence du maximum de fréquence des inclinaisons comprises entre - 50° et - 64° peut très bien s'expliquer par le jeu de la variation séculaire. L'étalement des déclinaisons correspondantes appuie d'ailleurs cette interprétation. Par contre le maximum de fréquence correspondant aux inclinaisons comprises entre - 48° et - 40° s'explique beaucoup plus difficilement de cette manière et ce d'autant plus que les déclinaisons correspondantes sont très groupées. Il est donc possible que ce maximum corresponde soit à la multiplication sur une même coulée des sites analysés, soit à la condensation des émissions étudiées dans une période très courte. Dans ce dernier cas on pourrait parler de phase d'activité.

La position des sites à inclinaison inverse comprise entre - 40° et - 48° va nous permettre de juger si une telle hypothèse est en accord avec la géologie. Dans l'ensemble que nous étudions maintenant nous trouvons les sites 113 (site G₁₄ M. VIGNERON 1965) situé à 1240 m sur les labradorites Λ^1 bordant, à l'ouest, le lac de Guéry et le site 112 (site G₄ M. VIGNERON 1965) qui est localisé sur les labradorites que l'on voit affleurer à 1264 m au sud de l'Hôtel du Lac dans le talus de la route N 683. Les directions d'aimantation sont bien définies et prouvent que les deux affleurements étudiés correspondent à une seule coulée ou à deux coulées très condensées dans le temps. Cette conclusion est encore renforcée si l'on tient compte de la direction d'aimantation mesurée sur l'échantillon du site 114 (site G₁₃ M. VIGNERON 1965), situé entre les deux points précédents sur un affleurement de même nature pétrographique et à la même altitude.

Le site 35 peut se rattacher à cette unité. Il correspond aux labradorites exploitées autrefois dans la carrière ouverte au bas du chemin qui relie le lac de Guéry au buron de la Clef du Lac. Les résultats que nous donnons correspondent aux deux valeurs mesurées par M. VIGNERON (site G₃ M. VIGNERON 1965) mais les mesures d'inclinaison que nous avons faites sur trois échantillons donnent des valeurs comprises entre - 38°30 et - 42°30. Le site 35 correspond donc très probablement à une intrusion contemporaine de la coulée λ^1 qui borde le Lac de Guéry.

Nous pouvons aussi rattacher à ce groupe le site 07 bien que la direction calculée soit entachée d'une grande incertitude (λ 95 = 25°30). En effet ce site est localisé sur une coulée intercalée à 1270 m dans la série volcano-sédimentaire qui forme le talus Sud de la N. 683 à 250 m au Nord du Col de Guéry et qui est très comparable à celle qui supporte les affleurements de labradorites que nous avons étudiés au Sud Ouest du lac de Guéry.

L'inclinaison résultante (-37°30) calculée pour le site 115 (site G₅ M. VIGNERON 1965) est supérieure à - 40°. Ce site nous semble cependant se rattacher au groupe que nous venons d'étudier. Il s'agit d'une coulée de basalte β^1 recouvrant à 1270 m les labradorites du site 35, en contrebas du Buron de la Clef du Lac. Certaines inclinaisons mesurées (- 41° - 33° - 32° - 44°) sont en effet très voisines de celles obtenues pour le site 35.

Les données paléomagnétiques nous permettent logiquement de penser que les coulées à aimantation inverse qui entourent le lac de Guéry (sites 07, 35, 112, 113, 114, 115) ont sans doute été mises en place dans

un temps très bref et correspondent de ce fait à une même période inverse.

Des datations ont été réalisées sur les sites 112 et 35. Elles ont donné les résultats suivants :

Site 112 : 2,15 M.A. (- 0 + 0,45) (P. DUMESNIL)

Site 35 : $1,8 \pm 0,6$ M.A. (R. LETOLLE)

Compte tenu de l'aimantation inverse, l'unité de Guéry que nous venons de définir a été probablement mise en place durant la première partie de l'époque Matuyama soit entre 2,13 et 2,43 M.A.

A l'unité du Lac de Guéry qui forme un ensemble géologique cohérent nous pouvons rattacher les sites 120, 119 et 09. Le site 119 (site GR₁ M. VIGNERON 1965) correspond aux trachyandésites qui entre 1460 et 1480 m constituent le sommet du Puy Gros. Si la direction d'aimantation est très proche de celle de l'unité de Guéry, la dispersion des directions mesurées ($\alpha_{95} = 21^{\circ}30'$) et le manque de continuité géologique entre ce point et l'unité de Guéry ne permettent cependant pas de conclure autrement qu'en disant : il est possible que la coulée terminale du Puy Gros appartienne à l'unité de Guéry.

Le site 120 correspond aux trachytes τ_1 du Puy de Chambon (site MD₂ M. VIGNERON 1965 - 1400-1440m) et le site 09 représente un affleurement de trachyte τ_1 qui affleure sur la rive droite du Sioulet au Nord du Puy de l'Aiguiller. Ces coulées peuvent constituer l'équivalent de la série inverse de Guéry mais d'une part les déclinaisons sont très divergentes et la dispersion est assez notable ($\alpha_{95} = 19^{\circ}$ pour le site 09 et $\alpha_{95} = 12^{\circ}$ pour le site 120), d'autre part nous n'avons pas de continuité entre ces coulées et celles de l'unité de Guéry.

Nous concluerons donc en disant : d'après les données paléomagnétiques il est possible que l'unité inverse de Guéryse prolonge jusqu'au niveau du Puy Chambon à l'Est dans la vallée du Sioulet au Nord-Est.

Enfin nous pouvons rapprocher de cette unité les coulées de Basalte β et de labradorites λ , de Rochefort Montagne (sites 102 et 103). Il est donc possible que l'unité de Guéry se soit étendue jusqu'au niveau de Rochefort Montagne.

Nous avons vu que l'existence d'un ensemble important de sites dont l'inclinaison est comprise entre $- 50^\circ$ et $- 64^\circ$ s'expliquait très bien par le simple jeu de la variation séculaire. Il est donc possible que ces sites appartiennent à plusieurs phases d'activité voire à plusieurs périodes inverses. Aussi les regroupements que nous allons envisager ne devront pas être considérés comme des certitudes mais comme de simples possibilités et la géologie devra nous dire si ces possibilités peuvent devenir des probabilités.

Les parentés déduites de l'analyse des courbes de fréquence des déclinaisons nous permettent de distinguer plusieurs groupements pour les directions d'aimantation.

- Les sites 01 et 27 dont les directions sont bien définies présentent des directions très voisines. Les trachyandésites de Laqueuille (site 01) peuvent être contemporaines du dyke de trachyandésite de la Carrière Monneron (site 27). Ce rapprochement est géologiquement possible mais nous ne pouvons pas confirmer avec certitude sa probabilité.

Nous pouvons rattacher à ce groupe le site 06. En effet, si sa direction moyenne diverge nettement de celles des formations précédentes, la dispersion des directions mesurées est très grande ($\sigma_{95} = 25^\circ 30'$) et rend incertaine la valeur de la moyenne calculée.

- Les sites 104 et 121 sont caractérisés par des directions bien définies ($\alpha_{95} = 7^\circ$ ou $6^\circ 30'$). Le site 104 correspond aux phonolites de la Roche Sanadoire tandis que le site 121 (site C₁ M. VIGNERON 1965) représente la coulée d'Ordanchite qui s'étale près du lieu dit les Courts au Nord de Lusclade. Nous devons rattacher à ce groupe le site 122 (site C₂ M. VIGNERON 1965) localisé aussi sur les Ordanchites des Courts mais pour lequel nous ne disposons que d'un seul échantillon.

Etant donné l'éloignement des formations mesurées nous ne pouvons pas procéder à une analyse géologique.

- les directions moyennes d'aimantation calculées pour sites 08 et 15a permettraient de les rapprocher mais d'une part pour le site 08 nous ne pouvons pas assurer que la direction calculée est caractéristique, d'autre part pour le site 15a nous avons vu (chapitre I Fig. 19) que seul l'échantillon 67 Bo 07 portait une ATR vraiment caractéristique. Pour les autres échantillons des sites 15a l'ATR ne devient prédominante que dans les stades ultimes de la désaimantation, les ARI jouant un rôle important au départ. La direction de l'ATR de l'échantillon 67 Bo 04 ($- 46^\circ \ 162^\circ \ 30' \ W$) permet cependant de rapprocher le site 15a de l'unité de Guéry. Le rapprochement basé sur la direction moyenne calculée est donc très aléatoire.

Du point de vue géologique nous devons signaler que le site 08 correspond à un affleurement de basalte β_1 surmontant de 1 à 2 m le site 07 que nous avons rapporté à l'unité de Guéry. Ce site 08 peut donc très facilement être placé dans cette unité. Quant au site 15a que les données magnétiques nous conduisent à

rapprocher de cette unité il recouvre une série volcano sédimentaire litée, enrichie en produits ferrugineux de lessivage, très comparable à celle qui affleure dans le talus du chemin allant du lac de Guéry au buron de la Clef du Lac près du site 35.

Nous pouvons donc conclure que l'unité de Guéry comprend probablement le site 08 et qu'il est possible qu'elle soit équivalente non seulement de la coulée supérieure du Puy Gros mais aussi de la coulée d'Ordanchite qui s'étend à l'Ouest de la Banne d'Ordanche.

- Les sites 15b, 25 et 33 doivent être comparés ensemble. En effet si pour le site 33 qui correspond à un affleurement de basalte β^1 situé au Nord du hameau de la Fougère la direction d'aimantation est bien définie ($\alpha_{95} = 6^\circ 30'$) pour le site 25 (dyke d'Ordanchite recoupant les rhyolites de la Gacherie) la dispersion des directions mesurées est un peu plus forte ($\alpha_{95} = 15^\circ 30'$) - Pour le site 15b (coulée de basalte β^1 affleurant sous les dépôts volcano sédimentaires qui supporte la coulée d'ordanchite près du parking de la Banne d'Ordanche) nous avons vu (Chapitre I, Fig. 20) que l'ARI qui affecte l'échantillon 67 Bo 06 n'est peut être pas totalement détruite ce qui explique la dispersion des mesures ($\alpha_{95} = 18^\circ 30'$). Dans ce site l'échantillon 67 Bo 04 est par contre porteur d'une ATR nette et sa direction d'aimantation ($- 62^\circ \ 179^\circ \text{ E}$), proche de celle du site 33, justifie le rapprochement des sites 33 et 15b.

On peut rattacher à ce groupe les ordanchites du Puy de l'Aiguiller (site 123 = AI₂ M. VIGNERON 1965) pour lequel la dispersion des directions mesurées est relativement grande ($\alpha_{95} = 19^\circ$) et les basaltes β'' de Vernines (site 107).

- Le site 21b (Basalte affleurant près du village ^(de vacances) à l'Est du Pré Cohadon) nous avons vu (Chapitre I fig. 18) que la direction moyenne est sans doute caractéristique bien que la dispersion soit relativement grande ($\alpha_{95} = 18^{\circ}30$). Ce site se rattacherait à ce groupe et en particulier au site 15b.

La répartition géographique des sites ainsi regroupés ne permet absolument pas de préciser si ces rapprochements ont une signification géologique.

- Pour terminer notre revue des directions moyennes il nous faut dire un mot du basalte à phénocristaux de pyroxène du Pré-Cohadon (site 20) et des phonolites du Puy Corde (site 124). Nous avons vu au chapitre I (fig. 50) que parmi tous les échantillons, qui sont tous porteurs d'ARI, l'ATR n'est atteinte que pour l'échantillon 67 Bo 2503. Les ARI gardent une importance notable sur les autres échantillons ce qui explique l'importance de la dispersion ($\alpha_{95} = 32^{\circ}30$). Toutefois la direction de l'ATR portée par le bloc 67 Bo 2503 ($- 63^{\circ} 128^{\circ}30$ W) permet d'envisager un rapprochement entre ce site et les sites 30 et 70 dont nous avons parlé à propos du volcan du Sancy en rattachant certains de ces éléments à la période qui sépare les épisodes d'Olduvai et de Gilsa.* Il en va de même pour les phonolites du Puy Corde (site 124).

Mais là encore aucune donnée géologique ne permet de dire si ces parentés traduisent une parenté géologique.

Parmi toutes ces formations à inclinaison inverse comprise entre $- 50^{\circ}$ et $- 74^{\circ}$ nous ne disposons que d'une seule datation pour le site 27 (3,2 M.A. R. LETOLLE). Compte tenu du sens de l'aimantation ce dyke se situe donc soit au sommet de l'époque de

* La réunion et Gilsa d'après GROMME, 1970.

Gilbert soit pendant les épisodes inverses Mammoth et Kaena qui découpent la période de Gauss. Si la parenté que nous venons de signaler entre le site 01 et 27 est significative les trachyandésites de Laqueuille se raccorderaient à la même époque. La coulée d'Ordanchite de la Banne d'Ordanche qui est postérieure peut alors très bien correspondre à l'unité de Guery rattachée au Matuyama inférieur.

De toute façon nous pouvons conclure qu'il est certain que le niveau inverse rencontré sur les flancs oriental et Sud Oriental de la Banne d'Ordanche recouvre plusieurs épisodes de champ inverse compris entre 2.13 et 3.2 M.A.

Pouvons-nous retrouver des témoins des périodes de champ normal qui séparent les périodes de champ inverse ? Ceci nous amène à étudier les laves à aimantation normale.

b) Répartition des directions à aimantations normales

Les diagrammes de la figure 139 montrent que là encore les inclinaisons les plus fréquemment rencontrées sont comprises entre $+ 50^\circ$ et $+ 64^\circ$. Cette constatation trouve facilement une explication par le jeu de la variation séculaire, c'est pourquoi les discussions que nous allons maintenant entreprendre seront très délicates et ne pourront conduire qu'à des possibilités.

En tenant compte de la répartition de l'inclinaison et de la déclinaison nous distinguerons plusieurs groupes.

- Nous devons traiter à part les sites 29, 118 et 04 ($8^\circ < I < + 44^\circ$).

Les phonolites du Genestoux (site 29) présentent une direction d'aimantation voisine de celle calculée pour les trachyandésites du Rocher de l'Aigle (site 32). Mais étant donné que d'une part les phonolites ne semblent pas toujours fossiliser correctement le champ terrestre et que d'autre part la direction de l'aimantation du site 32 est mal définie

(α 95 très grand) ce rapprochement reste incertain.

Par contre on peut rapprocher les sites 04 et 118 (site G₁₂ M. VIGNERON 1965). En effet si la dispersion est faible pour le site 04 (ordanchites entre Roc Blanc et Roc Maleviale) elle est plus forte pour le site 118 (α 95 = $24^{\circ}30$). De plus le site 118 est localisé sur une coulée de basalte β^1 qui recouvre, près de la cote 1368 m à l'Ouest du lac de Guéry, les labradorites inverses de Guéry comme le font les Ordanchites du site 04. Ces formations peuvent donc être relativement proches dans le temps. Par ailleurs leur direction d'aimantation les rapprochent des sites à inclinaison normale faible que nous avons rencontrés au sommet du Ravin des Egravats, du Cliergues ainsi qu'à la Montagne de Bozat. Nous reviendront un peu plus loin sur cette constatation.

- Un premier groupement de coulées peut être caractérisé par $+ 48^{\circ} < I < + 68^{\circ}$ et $20^{\circ} E < D < 75^{\circ} E$.

Il comprend les sites :

- 03 Coulée au Pied du Roc Blanc
- 05 Phonolites Roc Maleviale
- 10 Coulée basaltique β^2 du Puy de Pretio
- 12 Coulée sommitale du Puy Loup
- 14 Coulée de Basalte β^2 entre le Puy Loup et le Roc Blanc
- 16 Coulée de Basalte de Pailhers au Nord Ouest de Murat le Quaire
- 34 Coulée β^2 du Puy de la Monteilhe
- 38 Coulée β^1 de la Ferme de la Tache
- 101 Basalte de St Sauves
- 106 Labradorites λ^2 Sud Est Roche Sanadoire
- 110 Coulée β_2^b Nord d'Orcival
- 111 (Site TV₁ M. VIGNERON 1965) Labradorite λ^2 entre Puy Loup et Lac de Guéry

116 (site G₈ M. VIGNERON 1965) - Coulée β^1
rive droite du ruisseau de Guéry.

Nous voyons que la plupart des sites rassemblés dans ce groupe se situent au sommet du Puy Loup et sur les flancs Nord et Est de ce Puy, et forment la plupart des coulées qui recouvrent l'unité inverse de Guéry. Ce groupe peut très bien correspondre à une unité géologique. Cependant on peut craindre que les ARI importantes sur l'ensemble des roches étudiées ici ne jouent un rôle prédominant et ne faussent les résultats. C'est pourquoi nous allons analyser en détail les résultats obtenus.

Pour les sites 34, 101 et 116 la direction moyenne est caractéristique. Pour le site 05 la dispersion importante provient sans doute de la structure intrusive de l'appareil.

Nous avons vu (chapitre I fig. 38) que sur les échantillons du site 10 aucune ARI n'est totalement détruite ce qui explique l'importance de la dispersion ($\alpha 95 = 32^\circ 30'$) mais la convergence des directions d'aimantation vers des déclinaisons Est est cependant assez nette pour que l'on puisse considérer que la direction moyenne est significative.

Pour le site 12 nous avons noté (chapitre I fig. 40) que l'échantillon 67 Bo 02 peut caractériser la coulée c'est pourquoi nous avons retenu la direction de ce seul échantillon sans tenir compte de celles mesurées sur les autres échantillons. Pour les mêmes raisons nous n'avons donné que la direction obtenue sur les échantillons porteurs d'ATR caractéristiques pour les sites 16 - 03 et 111.

Pour le site 14 nous avons tenu compte de toutes les directions mesurées ce qui conduit à une grande

dispersion ($\alpha_{95} = 30^\circ$) et la direction moyenne n'est pas bien déterminée, les ARI jouant encore un rôle important sur certains échantillons, mais le troisième (67 Bo 23 - 08) donne une direction d'aimantation ($+ 60^\circ 41' E$) due à une ATR et qui caractérise mieux la coulée que la moyenne calculée. Pour les mêmes raisons la direction de l'aimantation du site 11 (chapitre I fig. 22) est mieux caractérisée par celle des échantillons 67 Bo 25-05 ($+ 62^\circ 30' 34'' E$) et 67 Bo 25-06 ($+ 55^\circ 17' E$) que par la direction résultante calculée. De ce fait ce site se rattache plutôt au groupe que nous étudions actuellement.

Pour le site 38 la dispersion très grande ($\alpha_{95} = 38^\circ$) est due à la subsistance d'ARI sur deux échantillons mais la direction de l'aimantation mesurée sur l'un des échantillons ($+ 51^\circ 30' 27'' E$) permet de le rattacher à ce groupe.

En résumé bien que les données paléomagnétiques soient entachées de nombreuses erreurs par suite de l'importance des ARI nous devons remarquer que pour toutes les laves qui couronnent la Banne d'Ordanche et le Puy Loup, quand nous atteignons l'ATR, celle-ci présente une forte déclinaison Est et une inclinaison comprise entre $+ 55^\circ$ et $+ 64^\circ$.

Cette convergence peut difficilement s'expliquer par le hasard et nous pensons qu'elle vient du fait que les coulées ont été mises en place dans un temps très court et appartiennent toutes à une même phase d'activité. Celle-ci ^(est) postérieure au Matuyama inférieur puisque les laves émises recouvrent l'unité inverse de Guéry. Compte tenu des directions d'aimantation on peut situer cette phase au niveau des épisodes de l'Olduvai* ou durant ceux de Gilsa.** Or la forte déclinaison Est

* La Réunion d'après GROMME, 1970.

** Olduvai et Gilsa d'après GROMME, 1970.

nous conduit à les rapprocher des sites 42 - 84 - 85 - 90 et 91 étudiés à propos du Sancy. L'ensemble des laves qui couronnent le Puy Loup se raccorderait donc à la série du Plateau de l'Angle que nous avons rattachée aux Episodes Gilsa.* Cela nous amène à revenir aux laves à faible inclinaison pour noter une nouvelle convergence. Les coulées rencontrées sur le flanc Nord Est du Puy Loup sont intimement associées aux sites 04 et 118. Nous avons noté que ces sites s'apparentaient aux coulées du sommet du Ravin des Egravats et du Cliergue que nous avons été amenés à placer durant les épisodes Gilsa.*

Par ailleurs d'après les données paléomagnétiques le site 38 peut se rattacher aux laves du Puy Loup comme le site 91 situé sur la cascade du Saut du Loup. Or morphologiquement ce rapprochement dans le temps entre le basalte β^1 de la Ferme de la Tache (site 38) et les trachyandésites de la Cascade du Saut du Loup (site 90) est parfaitement justifié. Toutefois le site 38 a été daté de $0,5 \pm 0,9$ M.A. (MENENDEZ) ce qui nous avait conduit à la situer au niveau de l'époque de Brunhes mais étant donné l'erreur due à la forte teneur en Argon de l'air on peut craindre que comme pour le site 70 l'erreur soit sous estimée et que l'âge se situe en fait au voisinage de 1,6 M.A soit au niveau du second épisode Gilsa.

De toute façon nous dirons, compte tenu des convergences notées, qu'il est probable que la mise en place des coulées terminales de la Banne d'Ordanche a eu lieu au cours de deux phases d'activité contemporaines des épisodes Gilsa*¹ synchrones pour l'une des coulées qui couronnent les séries des Egravats, du Cliergues et de la Montagne de Bozat et pour l'autre de la série du Plateau de l'Angle.

* Olduvai et Gilsa dans l'échelle GROMME (1970).

- Un autre groupe de sites peut être caractérisé par $+ 48^\circ < I < + 68^\circ$ et $10^\circ W < D < 15^\circ E$. Il rassemble

les sites $\left. \begin{array}{l} 17 \\ 18 \end{array} \right\}$ coulées de basalte formant falaise
à l'Ouest de Murat le Quaire

22, 23, 24 Rhyolites de la Gachérie

et 28 Phonolites de Lusclade

Toutes ces coulées sont localisées au Sud-Ouest de la Banne d'Ordanche sous la carapace inverse. Les directions sont bien définies pour les basaltes et les rhyolites ($4^\circ < \Delta < 95^\circ$ à $11^\circ 30'$). Par contre pour le site 28 la dispersion énorme (Δ 95 serait égal à $49^\circ 30'$) ne permet que d'affirmer le sens de l'aimantation mais absolument pas de connaître la direction. Nous retrouvons donc là le caractère propre des phonolites.

D'après les données paléomagnétiques il est possible que les basaltes inférieurs de Murat le Quaire soient plus ou moins synchrones des rhyolites de Lusclade la Gachérie. Ces dernières étant datées de 6 à 10 M.A. suivant les échantillons mesurés il est bien sur impensable de préciser l'âge des basaltes de Murat le Quaire d'après les seules données paléomagnétiques.

Quant aux phonolites du site 28 datées de 3,7 M.A. (P. DUMESNIL) on peut les rattacher à l'épisode normal de Cochiti qui entre 3,70 et 3,92 M.A. découpe l'époque inverse de Gilbert.

- Nous rassemblerons dans un troisième groupe caractérisé par $+ 48^\circ < I < + 68^\circ$ et $78^\circ W < D < 20^\circ W$ les roches correspondant aux sites 117, 100, 108, 26 et 02.

Pour le site 100 (Basalte près du lieu dit chez Rigaud) au Nord de Murat le Quaire un seul échantillon a été étudié et encore sans être traité par champ alternatif. La direction ne peut donc pas être considérée

comme caractéristique. Pour le site 117 (site G₁₁ M. VIGNERON 1965) nous ne disposons que d'un seul échantillon mais qui a été désaimanté aussi nous pouvons prendre en considération mais avec réserve.

Pour le site 26 (dyke de Basalte à pyroxène traversant les cinérites près de La Gacherie) la direction moyenne déterminée à partir de deux échantillons est plus sure. Enfin en ce qui concerne le site 02 (Trachyphonolites du Roc Blanc) la direction moyenne est probablement caractéristique bien que la dispersion soit assez grande ($\angle 95 = 14^\circ$ pour 8 échantillons). Cette direction est proche de celle de la série des trachyandésites des Monaux. Comme le dôme du Roc Blanc est enjôyé par la série positive du Puy Loup nous pouvons penser qu'il est possible que les trachyphonolites du Roc Blanc soient contemporaines des épisodes Olduvai.*

3) - CONCLUSION A L'ETUDE DES VOLCANS DE LA BANNE D'ORDANCHE ET DE L'AIGUILLER.

L'étude paléomagnétique que nous venons de faire nous montre que très probablement les volcans de l'Aiguiller et de la Banne d'Ordanche n'ont pas eu une activité continue mais que leur mise en place s'est faite au cours de phases successives séparées par de plus ou moins longues périodes de repos.

Cette évolution combinée avec une activité de type Hawaïen permet de distinguer plusieurs séries d'âge différent et de proposer un premier schéma d'évolution probable.

En ce qui concerne la Banne d'Ordanche l'activité a débuté il y a 6 à 10 M.A. par la mise en place des rhyolites de Lusclade La Gacherie (sites 22 - 23 - 24) il est possible qu'en même temps se soient épanchés une partie des Basaltes de Murat le Quaire (sites 17 - 18).

L'activité reprend beaucoup plus tard durant l'épisode

* La Réunion d'après GROMME (1970).

normal de Cochiti (3,7 - 3,92M.A.) avec la mise en place des phonolites de Lusclade (site 28)

Il est probable qu'une nouvelle phase d'activité a lieu à la fin de l'époque Gilbert (3,32 M.A.) avec l'intrusion des Trachyandésites de la Carrière Moneron (site 27) et peut-être l'épanchement de la coulée de trachyandésite de La Queuille (site 01).

Ensuite l'activité ne semble reprendre une grande importance qu'au Matuyama inférieur (2,13 - 2,43 M.A.) avec la mise en place des Basaltes et Labradorites de l'unité inverse de Guéry (sites 07 - 08 - 35 - 112 - 113 - 114 - 115) à laquelle il est possible de rattacher les sites 15a (Ordanchites de la Banne d'Ordanche) 119 (trachyandésites du Puy Gros) 120 (trachytes du Puy Chambon) et 09 (trachyandésites du Sioulet).

La dernière phase d'activité importante voit la naissance des coulées terminales de la Banne d'Ordanche probablement contemporaines des épisodes Gilsa (sans doute le premier épisode)*.

* soit Olduvaï dans l'échelle GROMME (1970).

B - LE FLANC ORIENTAL DU MASSIF DU SANCY : LA REGION DE MUROLS

Nous avons exécutés quelques mesures sur les coulées basaltiques qui forment les nappes basaltiques (fig. 140) de la région de Murols - Saint-Nectaire. L. GLANGEAUD, dans la troisième édition de la Carte géologique, avait déjà distingué des basaltes miocènes cartés - β_1 - β_{11} et des basaltes pliocènes cartés β^0 . En 1965 (L. GLANGEAUD et al., 1965) la datation d'une coulée β_{11} de Murols (16,2 M.A.) permettait d'affirmer l'existence d'une coupure d'au moins 5 à 6 M.A. dans la série de Murols.

Ultérieurement, BOUT - FRECHEN et LIPPOLT (1966) ont réalisé une série de datations sur certaines coulées. Il nous a paru souhaitable de compléter les mesures paléomagnétiques déjà réalisées.

Les tableaux IV A donnent les nouveaux résultats obtenus.

Le tableau IV B constitue le rappel des directions d'aimantation reconnues par ROCHE (1958) et LEPVRIER (1962). Les directions résultantes sont données dans le tableau IV C et la position des pôles dans le tableau IV C.

Par ailleurs A. ROCHE (1963) a reconnu les directions d'aimantation suivantes :

- Aimantation inverse : β_{11} du plateau de Pardines
 β^2 entre Beaune et Murols
- Aimantation normale : β^2 d'Aurières
 β^0 de Beaune
 β^3 de Champeix

L'examen de la figure 141 permet de regrouper les directions d'aimantation en trois ensembles :

- Un ensemble à aimantation normale.
- Deux ensembles à aimantation inverse.

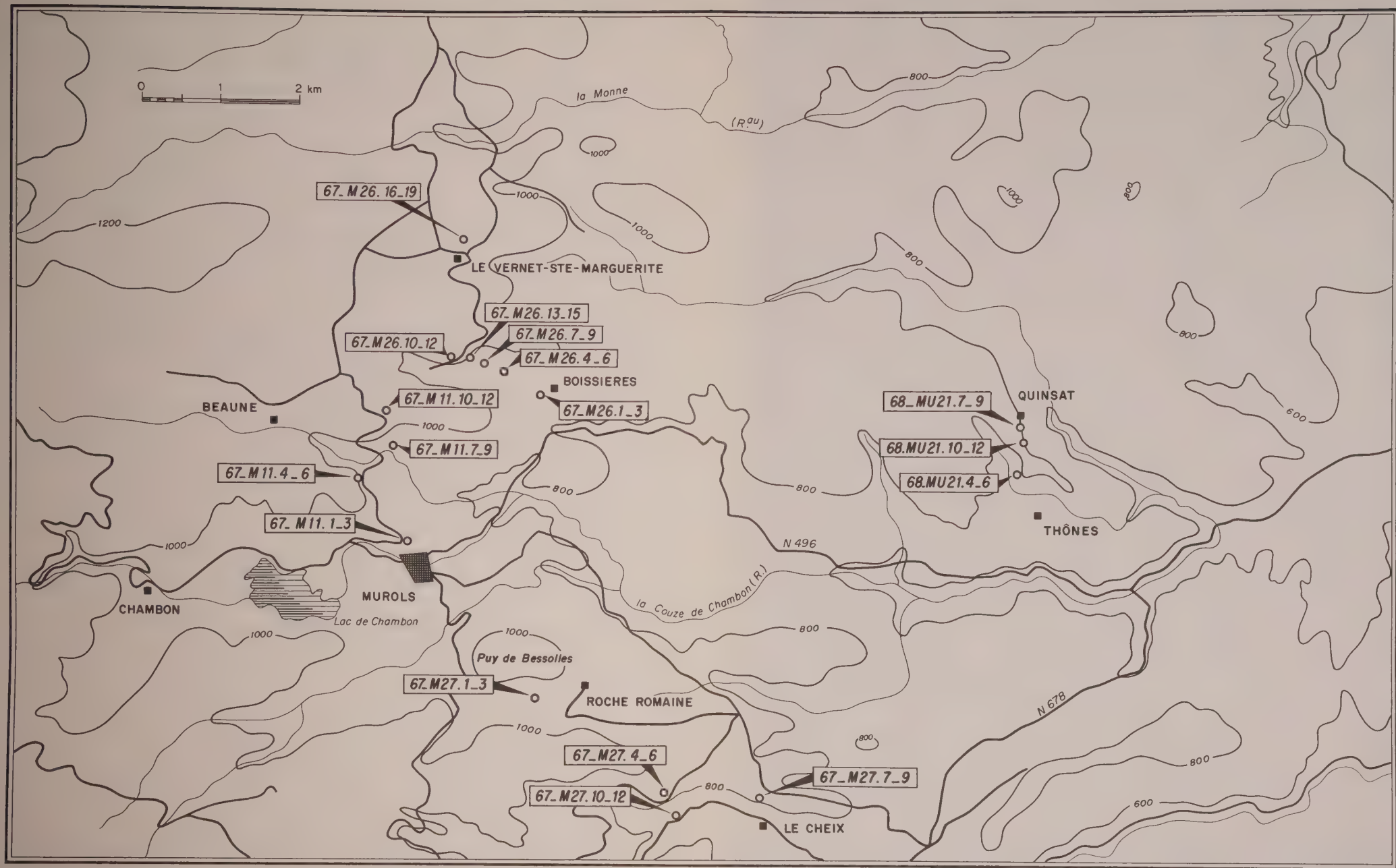
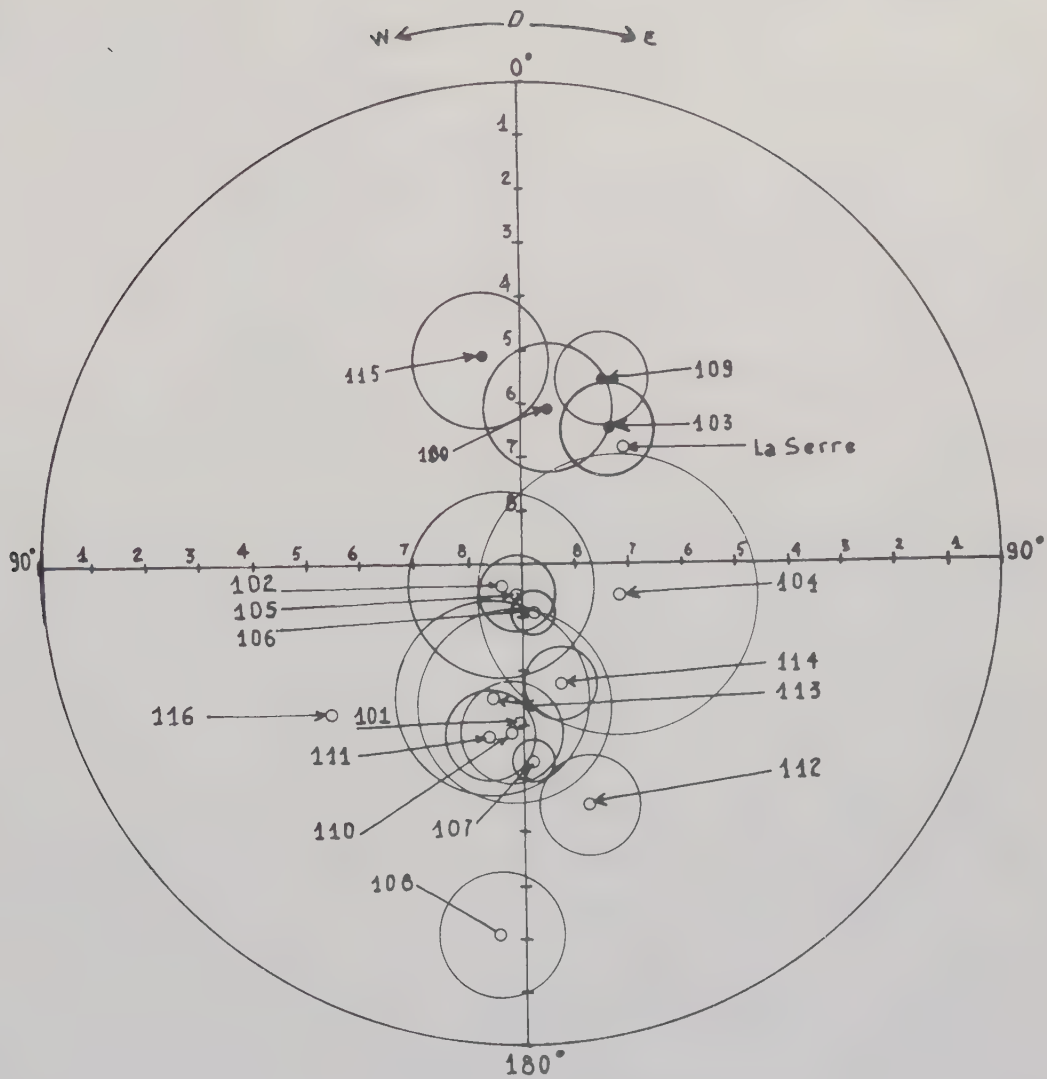


Fig. 140



Directions d'aimantations
des coulées de la région de Murois

I) L'ENSEMBLE A AIMANTATION NORMALE :

Il rassemble avec la direction d'aimantation du basalte β^0 de la Montagne de la Serre les sites :

- 100 : Dyke de basalte β , (borne 33 km sur la D 35)
(fig. 30 - Chapitre I)
- 103 : Coulée de basalte β^0 de Beaune. (fig. 33 -
Chapitre I)
- 109 : Coulée de basaltes β^0 du Vernet (fig. 17 -
Chapitre I)
- 115 : Basalte β , de la carrière du Cheix (fig. 32 -
Chapitre I)

Les sites 103 & 109 qui sont proches l'un de l'autre et se présentent dans les mêmes conditions topographiques, semblent bien correspondre à une même phase de l'activité volcanique. Leur direction d'aimantation est très proche de celle des Basaltes β^0 de la Montagne de la Serre. Or cette formation a été datée par LIPPOLT de $3,4 \pm 0,1$ M.A. (in P. BOUT, 1967) ce qui, compte-tenu de son aimantation normale, permet de la situer à la base de l'époque normale de Gauss entre 3,06 et 3,32 M.A. (COX, 1969). Sans avoir une certitude absolue nous pouvons donc émettre l'hypothèse que les coulées de Beaune et du Vernet sont de la même époque.

Le dyke qui correspond au site 100 recoupe les alluvions ponceuses du Lac Chambon que A. BRUN (A. BRUN, 1970) rattache au Tiglien. (Cette série est antérieure à des éléments rencontrés dans le ravin de Guéry sous la série de Queureuilh (A. BRUN, 1970) que nous parallélisons avec l'épisode Gilsa^{*}). La série de Chambon se situerait entre cet épisode et l'épisode Olduvaï^{**} (A. BRUN, 1970). Le dyke de Murols pourrait ainsi dater de l'une des phases de l'épisode Gilsa^{*} (1,61 - 1,79 M.A.) et il s'agirait non pas d'un basalte β , mais plutôt d'un basalte β^1 .

La coulée du Cheix (site 115) est intercalée dans des éléments de la série de Perrier (L. GLAUGEAUD, 1939) qui couvre

* Olduvaï et Gilsa dans l'échelle de GROMME (1970).

** Entre les épisodes la Réunion et Olduvaï dans l'échelle GROMME (1970).

A) NOUVEAUX RESULTATS

Site	N° Echan- tillon	I	D	R	I _R	D _R	k	α_{95}
100	67 M 11 (01-03)	+ 61°30 + 61° + 58°30	3° E 1° W 26°30E	2.98	+ 61°	10° E	114	11°30
101	67 M 11 (04-06)	- 81° - 14°30 - 81°	170° W 176° W 158° E	1.99	- 81°30	174° E	537	11° Indic.
102	67 M 11 (07-09)	- 75° - 83° - 80°	76° W 150° E 177° E	2.95	- 84°30	140° W	46	18°30
103	67 M 11 (10-12)	+ 55° + 64° + 61°	34° E 30° E 30° E	2.99	+ 60°	31°30E	293	7°30
104	67 M 26 (01-03)	- 74° -76°30 - 55°	109°30E 48° E 126° E	2.90	- 71°	107° E	22	26°30
105	67 M 26 (04-06)	- 85° - 81° - 83°30	180° W 180° W 127°30W	2.99	- 84°	164° W	413	6°
106	67 M 26 (07-09)	- 81° - 83° - 78°	167° E 164° E 164° E	2.99	- 80°30	165° E	1023	4°
107	67 M 26 (10-12)	- 54°30 - 51°30 - 53°30	172°30E 180° E 176° E	2.99	- 53°30	176°30E	885	4°
108	67 M 26 (13-15)	- 16°30 - 22° - 23°30	176°30E 172° W 171°30W	2.98	- 21°	176° W	121	11°30
109	67 M 26 (16-19)	+ 40°30 + 53°30 + 57°30 + 55°30	29°30E 25° E 30° E 27° E	3.97	+ 52°	28° E	108	9°
110	68 MU21 (04-06)	- 56° - 58° - 60°	170° W 170° E 168° W	2.98	- 58°30	176°W	146	10°

Tableau IV A

Site	N° Echan- tillon	I	D	R	I _R	D _R	k	α_{95}
111	68 MU21 (07-09)	- 59°30 - 60°30 - 51°30	176° W 163° W 168° W	2.98	- 57°30	169° W	182	9°
112	68 MU21 (10-12)	- 41°30 - 47° - 41°30	156°30E 169° E 169° E	2.98	- 43°30	164°30	165	9°30
113	67 M27 (01-03)	- 51° -72°30 - 68°30	163°30W 178° E 163° W	2.95	- 64°	167°30W	44	18°30
114	67 M 27 (04-06)	- 68° - 64° - 68°30	153°30 E 163° E 169°30E	2.99	- 67°	162° E	423	6°
115	67 M 27 (07-09)	+ 50°30 + 57° + 44°30	18° W 1° E 9° W	2.97	+ 51°	9° W	90	13°
116	67 M 27 (10-12)	- 44°30 - 45° - 36°	157° W 131°30W 101°30W	2.86	- 44°	128°30W	15	32°30

Tableau IV A (suite)

B) AUTRES RESULTATS

Auteurs	Lieu	R	I	D	k	α_{95}
C. LEPVRIER	β' Roche Romaine = site 113	1.99	- 45°	174°30W	124	23°
	β'' Roussat = site 114	2.99	- 80°	146°30E	1357	3°30
A. ROCHE	β_0 La Serre	1	+ 60°30	40° E	-	-
	β_0 Puy de Bes- soles	6.77	- 56°30	163° E	27	11°30
	β' Roche Romaine = site 113	2.99	- 60°	170° W	651	5°

Tableau IV B

C - RESULTANTES

	Paramètre de précision en- tre les sites	R	I	D	Pré- cision dans les sites	α_{95}
Aimantation Normale	56	4.91	+ 58°	19° E	121	9°
Aimantation Inverse	18	15.96	- 64°	179° W	58	8°50
Aimantation Inverse à inclinaison moyenne	26	10.53	- 53°	175°30W	53	9°
Aimantation Inverse for- te inclinai- son	203	5.95	- 82°	152°30E	76	5°30
Total	2	20.81	+ 63°	6° E	65	20°30

Tableau IV C

D) POSITION DU POLE

	Latitude	Longitude	δ_p	δ_m
Aimantation Normale	74°30 N	112° E	10°	13°30
Aimantation Inverse	89°30 N	76°30 E	10°30	13°30
Aimantation Inverse I moyen	78° N	164°30 E	8°30	12°30
Aimantation Inverse I fort	58°30 N	10°30 W	10°30	11°
Total	85°30 N	107°30 E	25°30	32°30

Tableau IV D

le premier et le second remblaiement villafranchien (BOUT, 1960). Cette série est postérieure à la coulée de Pardines à aimantation inverse datée de 4,2 M.A. (qui se situe ainsi dans l'une des épisodes inverses de l'époque de Gilbert. On peut même raisonnablement envisager une mise à jour antérieure à l'épisode de Nunivak entre 4,25 et 4,38 M.A.) et la coulée de Roca Neyra datée de 3,1 M.A. (LIPPOLT) et 3,9 M.A. (CURTIS). A. BRUN (1970) situe le second remblaiement au niveau de l'épisode Gilsa*. La coulée du Cheix peut ainsi se situer, compte-tenu de son aimantation, dans l'épisode Gilsa* comme le dyke de Murols, il s'agirait ainsi d'un basalte β^1 .

En résumé l'analyse des données géologiques montre que l'on peut raisonnablement considérer que les coulées à aimantations normales rencontrées dans la région de Murols appartiennent à deux période d'activité l'une contemporaine du début de l'époque de Gauss (sites 103, 109, Montagne de la Serre) l'autre des épisodes Gilsa* (sites 100 et 115). Cette conclusion illustre bien les limites de la méthode paléomagnétique pour définir la chronologie des coulées. En effet nous voyons que des coulées séparées par plusieurs centaines de milliers d'années présentent des directions d'aimantation voisines. Qui plus est, en ne tenant compte que des directions d'aimantation, nous serions tentés de rapprocher les sites 103 et 109 caractérisés par une forte déclinaison Est des coulées du Plateau de l'Angle et du Sommet du Puy Loup. Cela nous conduirait ainsi à envisager pour ces sites une mise à jour pendant l'épisode Gilsa*. Or cette hypothèse est à rejeter, compte tenu des données géologiques. Il est donc clair que la comparaison des directions d'aimantations obtenues sur des coulées appartenant à des appareils volcaniques sans liens géographiques et surtout géologiques directs ne pourra pas apporter des arguments stratigraphiques sérieux.

La démarche de pensée qui nous conduit à utiliser les directions d'aimantation pour contribuer à la stratigraphie n'est

* Des épisodes Gilsa et Olduvai dans l'échelle de GROMME (1970)

donc applicable que lorsque l'étude paléomagnétique porte sur un complexe volcanique lié à l'évolution d'une structure locale unique comme la fosse volcano tectonique La Bourboule Le Mont-Dore.

II) LES ENSEMBLES A AIMANTATION INVERSE :

1) Groupe à inclinaison moyenne :

Il comprend :

- Coulée de β^0 du Puy de Bessoles
- Coulée β^1 de Quintat (site 112)
- Coulée $\beta_{''}$ de Quintat (site 111)
- Coulée $\beta_{''}$ de Thones le Vieux (site 110)
- Coulée $\beta_{,}$ de Roche Romaine (site 113) (Fig. 35 - Chapitre I)
- Coulée $\beta_{,}$ de Laval (site 107) (fig. 39 - Chapitre I)
- Coulée $\beta_{''}$ de Roussat (site 114) (fig. 25 - Chapitre I)

On peut y rattacher les coulées d'andésites en dessous de Roussat (site 116) (fig. 28 - Chapitre I).

Du point de vue direction moyenne ce groupe est voisin du groupe des aimantations normales.

La coulée du site 108 (fig. 45 - Chapitre I) est antérieure à la coulée de Laval mais peut être considérée comme un basalte $\beta_{,}$.

La plupart de ces coulées sont antérieures aux coulées à aimantation normale que nous avons vue précédemment, mais postérieures aux éléments que nous verrons par la suite. Elles sont antérieures pour la plupart à la formation de Perrier.

Aucune datation n'a été réalisée dans ce groupe. On note cependant la présence ici du basalte $\beta_{''}$ de Thones le Vieux comparable au basalte $\beta_{''}$ à aimantation inverse de Pardines daté de 4,2 M.A. Nous pourrions donc penser que ces coulées se situent dans l'époque de Gilbert. La coulée du site 108 pourrait correspondre à une direction de transition proche de l'épisode de Nunivak soit vers 4,25 M.A.

2) Groupe à forte inclinaison.

Cet ensemble réunit les formations suivantes :

- Site 105 : β " de Laval (fig. 97 - Chapitre I)
- Site 106 : β " de Laval (fig. 36 - Chapitre I)
- Sites 101 } : β " de Chantignac près de Murois
102 } (fig. 27 et 31 - Chapitre I)

Nous avons vu (fig. 27 - Chapitre I) que la direction moyenne calculée pour le site 101 est sans doute entachée d'erreur car l'échantillon 67 M 11 05 est porteur d'une ARI. La direction de la coulée est mieux donnée par les échantillons 04 et 06.

On peut y rattacher le site 104 (fig. 34 - Chapitre I), qui correspond au β " de Boissières intercalé dans les sables miocènes, cette coulée précède les coulées β " de Laval (sites 105 et 106). De plus, la coulée de β " de Chantignac (sites 101 et 102) correspond à la coulée qui a été datée de 16,2 M.A. par P. DUMESNIL (L. GLANGEAUD et al., 1965). Cet ensemble forme dans l'espace un ensemble cohérent. Nous pouvons donc considérer que cet ensemble correspond effectivement à des coulées miocènes.

III) CONCLUSION :

En raison de la dispersion des coulées, il est difficile de tirer des conclusions décisives. Toutefois, il semble qu'après une phase d'activité volcanique miocène autour de 16 M.A., une pause d'au moins 10 à 12 M.A. soit intervenue. Les éruptions ne semblent avoir repris une certaine importance qu'au voisinage de 4,2 - 4,3 M.A., (soit pendant l'époque Gilbert et au début de l'époque de Gauss) et se sont poursuivies par intermittence jusqu'à l'époque de Brunhes parallèlement à l'évolution du Sancy.

Toutefois l'étude paléomagnétique n'apporte ici aucun élément stratigraphique majeur, si ce n'est l'étroite parenté entre les sites 101 et 102, 104, 105 et 106 qui renforce les observations géologiques et confirme l'existence d'une phase d'acti-

tivité Hawaïenne au miocène entre Murols et Laval. Les autres données paléomagnétiques ne deviendront vraiment utiles que lorsqu'elles seront accompagnées de mesures d'âges absolues parce qu'elles portent sur des laves relativement récentes. Cependant l'étude que nous venons de faire nous a permis d'illustrer, à propos des laves à aimantations normales, les limites du paléomagnétisme en stratigraphie.

Il apparaît ainsi que le paléomagnétisme peut être efficace pour la recherche des phases d'activité dans des volcans simples ou complexes à conditions que ces volcans soient liés à l'évolution d'une structure crustale (faille ou fosse d'effondrement) unique.

La comparaison, par le paléomagnétisme, de volcans appartenant à une même région volcanique mais jalonnant des accidents du socle différents paraît beaucoup plus délicate.

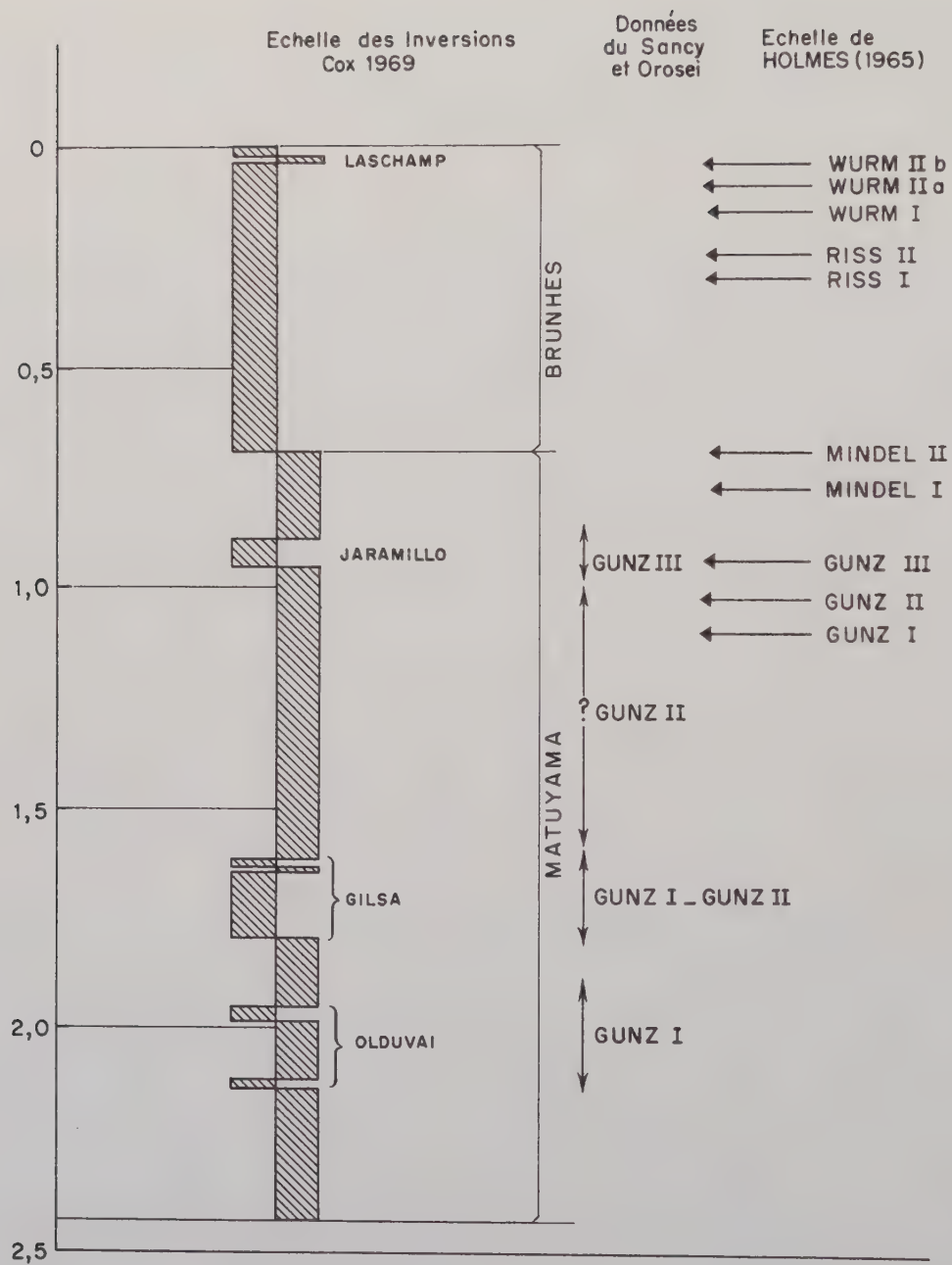
CONCLUSION A L'ETUDE DU MASSIF CENTRAL

Réservant pour la conclusion générale du présent mémoire l'aspect méthodologique de notre travail, nous n'évoquerons ici que les conclusions scientifiques.

1 - Il est clair que l'utilisation des caractères magnétiques des roches permet de subdiviser les séries volcaniques du Massif Central en sous ensembles et d'établir des corrélations locales, (échelles kilométriques). Dans le Massif du Sancy, l'analyse magnétique nous permet aussi d'affirmer que l'activité volcanique est condensée dans certaines périodes et que le volcan du Sancy et celui de la Banne d'Ordanche, n'ont pas été mis en place simultanément.

2 - Avant d'aller au delà de ces certitudes nous devons rappeler que, par suite du manque de datations radiochronologiques exécutées sur les échantillons analysés magnétiquement, les conclusions qui suivent ne sont que des probabilités. Cette réserve étant faite, nous disons :

- a) Si les subdivisions portent sur des formations hawaïennes discontinues (Murols) elles ne présentent pas un intérêt stratigraphique majeur. Par contre, dans les complexes de style hawaïen continus (Mezenc, Meygal, Banne d'Ordanche) il est possible de corréler de proche en proche les séries d'inversions reconnues et de proposer :
- d'une part, une chronologie relative du complexe,
 - d'autre part, de dégager des fragments du spectre de variations du champ géomagnétique local.
- Quand les datations radiochronologiques manquent, la connaissance de ces fragments de spectres ne permet pas de dater le volcanisme ancien (Région de Murols et Banne d'Ordanche, par exemple), mais permet par contre, de proposer un âge logique dans les complexes récents (Devès).



ESSAI DE CHRONOLOGIE DU
QUATERNAIRE

L'existence de quelques datations nous a permis, dans les Massifs relativement anciens du Mezenc et du Meygal, de proposer un schéma d'évolution dans le temps de l'activité volcanique. Ce schéma dépasserait la précision que l'on peut attendre des datations radiochronologiques si les datations avaient été faites sur les roches analysées magnétiquement.

- b) Dans le volcan du Sancy, la considération du sens de l'aimantation n'apporte, sauf cas particulier, (andésites de la route de la Tour), aucun élément stratigraphique. Par contre, l'analyse de la direction d'aimantation, s'appuyant sur les données géologiques et radiochronologiques permet de proposer un schéma de l'évolution dynamique du volcanisme lié à la formation de la fosse volcanotectonique la Bourboule-le Mont Dore, et de préciser la chronologie des différentes époques glaciaires que révèle l'analyse palynologique des sédiments intercalés (fig. 142).
- c) Notre étude nous permet d'envisager l'évolution dans le temps du volcanisme que nous avons étudié de la façon suivante :

α) L'activité volcanique débute avec un volcanisme basique lié à la distension oligocène. Ce volcanisme semble associé aux grabens les plus importants (Limagne de Clermont et Fossé de Montbrison). Il faut remarquer son absence totale dans le Velay où les grabens sont plus réduits et plus discontinus.

β) Durant le Miocène, l'activité volcanique se localise à la partie occidentale de la zone des grabens (région de Murols) mais demeure absente dans le Velay. L'érosion aboutit à la formation de surfaces faiblement ondulées.

γ) Au Pontien, (à partir de 11 MA), se développe une importante période d'activité volcanique. Tandis que le Massif du Sancy voit les premières manifestations volcaniques et que la fosse volcanotectonique La Bourboule-le Mont Dore, commence à s'effondrer, l'essentiel du complexe Mezenc-Meygal est mis en place. Dans ce complexe l'activité volcanique se manifeste régulièrement du Nord au Sud, entre 10,5 et 8,5 MA. Elle aboutit à la formation d'une série de base continue qui recouvre la surface fini-miocène. Entre 8,5 et 7,4 MA ;

l'activité volcanique se localise à la partie Méridionale (Mezenc). Simultanément, une phase de creusement se produit. Peu sensible au Sud du complexe, l'érosion a été assez importante dans la partie Nord (Meygal-Lizieux). De ce fait, il semble logique d'admettre que cette érosion n'est pas due à une variation climatique généralisée mais qu'elle résulte d'une surrection qui, perturbant l'équilibre du réseau hydrographique atteint à la fin du Miocène, entraîne la reprise de l'érosion régressive; Entre 7,4 et 6,8 MA, les coulées fluides de basaltes semi-porphyroïdes viendront combler les vallées ainsi formées (Bournac et Vallées de Recharinges, Bellecombe et Chazeaux).

δ) Au Villafranchien (à partir de 2,5 MA) l'activité volcanique, qui a repris sporadiquement à partir de 4 MA, redevient très active. Naissent alors, les grands complexes du Devès et de la Région du Mont Dore. Dans le même temps, les pulsations climatiques villafranchiennes et quaternaires entraînent, dans les bassins, une alternance de phases d'érosion et de sédimentation.

Dans le Devès et le Bassin du Puy, où les structures sont simples, l'activité volcanique se manifeste essentiellement sous la forme de venues effusives basiques. Après avoir comblé les anciennes dépressions (Vallée de l'Allier), les coulées s'empilent pour former des tables basaltiques (Plateau du Devès). Au contraire, dans le Massif du Sancy, la reprise de l'enfoncement de la fosse volcanotectonique entraîne l'apparition d'un volcanisme plus complexe. Celui-ci important sur la bordure Nord (Banne d'Ordanche, Aiguillier) au Matuyama inférieur, se déplace ensuite à l'Olduvaï, vers le Puy de Sancy. Au voisinage des épisodes Gilsa*, l'ensemble des bordures de la fosse, a du être le siège d'une activité importante. Mais, si les coulées émises demeurent sur la bordure Nord (Puy du Loup) et dans le coeur du receptacle que constitue la fosse (Plateau de l'Angle, Ferme de la Tâche,...) elles ont du être démantelées par l'érosion décrite par Ph. GLANGEAUD qui a affecté le volcan du Sancy où seuls demeurent visibles les dykes d'alimentation.

* Olduvaï et Gilsa dans l'échelle de GROMME (1970)

